

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
19. Dezember 2024 (19.12.2024)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2024/256201 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

B23K 26/00 (2014.01) *B23K 26/55* (2014.01)
B23K 26/142 (2014.01) *G02B 5/08* (2006.01)
B23K 26/146 (2014.01) *B23K 103/00* (2006.01)
B23K 26/53 (2014.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2024/065181

(22) Internationales Anmeldedatum:
03. Juni 2024 (03.06.2024)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2023 205 565.1
14. Juni 2023 (14.06.2023) DE

(71) Anmelder: **CARL ZEISS SMT GMBH** [DE/DE]; Rudolf-Eber-Straße 2, 73446 Oberkochen (DE).

(72) Erfinder: **TIMM, Martin**; c/o Carl Zeiss SMT GmbH Rudolf-Eber-Straße 2, 73447 Oberkochen (DE). **SULEIMAN, Samer**; c/o Carl Zeiss SMT GmbH Rudolf-Eber-Straße 2, 73447 Oberkochen (DE). **SEIFERT, Andreas**; c/o Carl Zeiss SMT GmbH Rudolf-Eber-Straße 2, 73447 Oberkochen (DE). **RUCK, Joachim**; c/o Carl Zeiss SMT GmbH Rudolf-Eber-Straße 2, 73447 Oberkochen (DE). **LOOPSTRA, Erik**; c/o Carl Zeiss SMT GmbH Rudolf-Eber-Straße 2, 73447 Oberkochen (DE). **GATZEN, Caren**; c/o Carl Zeiss SMT GmbH Rudolf-Eber-Straße 2, 73447 Oberkochen (DE). **FAAS, Sebastian**; c/o Carl Zeiss SMT GmbH Rudolf-Eber-Straße 2, 73447 Oberkochen (DE).

(54) Title: METHOD FOR INCORPORATING TEMPERATURE-CONTROL HOLLOW STRUCTURES IN A SUBSTRATE, IN PARTICULAR IN A SUBSTRATE FOR AN OPTICAL ELEMENT, METHOD AND SUBSTRATE FOR PRODUCING AN OPTICAL ELEMENT, OPTICAL ELEMENT, SEMICONDUCTOR TECHNOLOGY PLANT AND STRUCTURED ELECTRONIC COMPONENT

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR EINARBEITUNG VON TEMPERIERHOHLSTRUKTUREN IN EIN SUBSTRAT, INSBESONDERE IN EIN SUBSTRAT FÜR EIN OPTISCHES ELEMENT, VERFAHREN UND SUBSTRAT ZUR HERSTELLUNG EINES OPTISCHEN ELEMENTS, OPTISCHES ELEMENT SOWIE ANLAGE DER HALBLEITERTECHNOLOGIE UND STRUKTURIERTES ELEKTRONISCHES BAUELEMENT

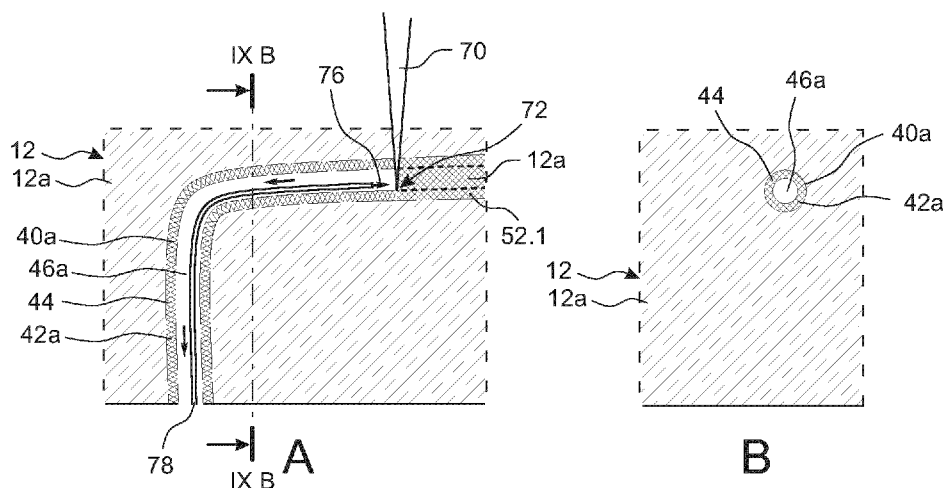


Fig. 9

(57) Abstract: The invention relates to a method for incorporating temperature-control hollow structures (22) in a substrate (12), in particular in a substrate (12) for an optical element (8), in particular for a mirror (10) for an EUV projection exposure system, said method having the following steps: (A) providing a substrate (12) which consists of a substrate material (12a); (B) generating an intermediate structure (40) which comprises an intermediate layer (42) of modified substrate layer (44) and an intermediate hollow structure (46) which is delimited by the intermediate layer (42) at least in some regions, wherein the modified substrate material (44) has a higher etchability than the substrate material (12a); (C) introducing a treatment medium (90) in the intermediate hollow structure (46), by way of which the intermediate layer (42) is removed from the modified substrate material (44) by way of an etching process, as a result

(74) **Anwalt: OSTERTAG & PARTNER PATENTANWÄLTE MBB**; Azenbergstraße 35, 70174 Stuttgart (DE).

(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

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

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

of which the temperature-control hollow structure (22) is produced. The intermediate structure (40) in step (B) is generated by (B.1) successively focusing a modification light beam (56) onto modification locations (66) such that, at the modification locations (66), the modified substrate material (44) is produced; and (B.2) successively focusing a removal light beam (70) onto removal locations (72) such that, at the removal locations (72), material (44; 12a) is removed. The invention also relates to a method and a substrate (12) for producing an optical element (8), and to an optical element (8). Furthermore, the invention relates to a semiconductor technology plant (6) and to a structured electronic component (224).

(57) **Zusammenfassung:** Es ist ein Verfahren zur Einarbeitung von Temperierhohlstrukturen (22) in ein Substrat (12), insbesondere in ein Substrat (12) für ein optisches Element (8), insbesondere für einen Spiegel (10) für eine EUV-Projektionsbelichtungsanlage mit den folgenden Schritten angegeben: (A) Bereitstellen eines Substrats (12), das aus einem Substratmaterial (12a) besteht; (B) Erzeugen einer Intermediat-Struktur (40), welche eine Intermediat-Schicht (42) aus modifiziertem Substratmaterial (44) und eine Intermediat-Hohlstruktur (46) umfasst, die von der Intermediat-Schicht (42) zumindest bereichsweise begrenzt ist, wobei das modifizierte Substratmaterial (44) eine bezogen auf das Substratmaterial (12a) erhöhte Ätzanfälligkeit hat; (C) Einbringen eines Behandlungsmediums (90) in die Intermediat-Hohlstruktur (46), durch welches die Intermediat-Schicht (42) aus dem modifizierten Substratmaterial (44) durch einen Ätzprozess entfernt wird, wodurch die Temperierhohlstruktur (22) entsteht. Die Intermediat-Struktur (40) in Schritt (B) wird erzeugt durch (B.1) sukzessives Fokussieren eines Modifikations-Lichtstrahls (56) auf Modifikationsorte (66), so dass an den Modifikationsorten (66) das modifizierte Substratmaterial (44) entsteht; und (B.2) sukzessives Fokussieren eines Abtrags-Lichtstrahls (70) auf Abtragsorte (72), so dass an den Abtragsorten (72) Material (44; 12a) abgetragen wird. Außerdem sind ein Verfahren und ein Substrat (12) zur Herstellung eines optischen Elements (8) und ein optisches Element (8) angegeben. Ferner sind eine Anlage (6) der Halbleitertechnologie und ein strukturiertes elektronisches Bauelement (224) angegeben.

Verfahren zur Einarbeitung von Temperierhohlstrukturen
in ein Substrat, insbesondere in ein Substrat für ein optisches
Element, Verfahren und Substrat zur Herstellung eines
optischen Elements, optisches Element sowie Anlage der
Halbleitertechnologie und strukturiertes elektronisches Bauelement

BEZUGNAHME

Die vorliegende Anmeldung beansprucht die Priorität der deutschen Patentanmeldung 102023205565.1, die am 14. Juni 2023 eingereicht wurde. Die vollständige Offenbarung dieser früheren Anmeldung wird hiermit durch Bezugnahme in die vorliegende Anmeldung aufgenommen.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

1. Gebiet der Erfindung

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Einarbeitung von Temperierhohlstrukturen in ein Substrat, insbesondere in ein Substrat für ein optisches Element, insbesondere für einen Spiegeln für eine EUV-Projektionsbelichtungsanlage, mit den folgenden Schritten:

- (A) Bereitstellen eines Substrats, das aus einem Substratmaterial besteht;
- (B) Erzeugen einer Intermediat-Struktur, welche eine Intermediat-Schicht aus modifizier-
10 tem Substratmaterial und eine Intermediat-Hohlstruktur umfasst, die von der Intermediat-Schicht zumindest bereichsweise begrenzt ist, wobei das modifizierte Substratmaterial eine bezogen auf das Substratmaterial erhöhte Anfälligkeit gegen ein chemisch aktives Behandlungsmedium hat;
- (C) Einbringen eines chemisch aktiven Behandlungsmediums in die Intermediat-Hohl-
15 struktur, durch welches die Intermediat-Schicht aus dem modifizierten Substratmaterial entfernt wird, wodurch die Temperierhohlstruktur entsteht.

Außerdem betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines optischen Elements,

insbesondere zur Herstellung eines Spiegels für eine EUV-Projektionsbelichtungsanlage.

Ferner betrifft die Erfindung ein Substrat zur Herstellung eines optischen Elements, insbesondere zur Herstellung eines Spiegels für eine EUV-Projektionsbelichtungsanlage, wobei das Substrat Temperierhohlstrukturen aufweist, sowie ein optisches Element, insbesondere
5 einen Spiegel für eine EUV-Projektionsbelichtungsanlage mit einem Substrat, sowie eine Anlage der Halbleitertechnologie und ein strukturiertes elektronisches Bauelement.

Die nachfolgende Beschreibung der Erfindung erfolgt anhand eines optischen Elements in Form eines Spiegels und dessen Verwendung in einer EUV-Projektionsbelichtungsanlage, wobei Wärme von dem Spiegel abgeführt wird, indem dessen vorhandene Temperierhohl-
10 strukturen mit einem Temperierfluid in Form eines Kühlfluids durchströmt werden.

Grundsätzlich gelten die nachfolgenden Erläuterungen aber allgemein für optische Elemente, welchen ein Substrat aus einem Substratmaterial zugeordnet werden kann, in das Temperierhohlstrukturen eingearbeitet sind, die im Betrieb des optischen Elements für einen Temperatenausgleich mit einem Temperierfluid durchströmt werden können.

15 Insbesondere werden optische Elemente in Anlagen der Halbleitertechnologie verwendet, bei denen ein Objekt mit Hilfe eines oder mehrerer optischer Elemente mit einer Arbeitsstrahlung bestrahlt wird. Neben einer EUV-Projektionsbelichtungsanlage gehören insbesondere Maskeninspektionsanlagen und Waferinspektionsanlagen zu solchen Anlagen für die Halbleitertechnologie.

20 Einerseits kann ein Temperieren ein Kühlen oder Erwärmen des optischen Elements oder zumindest eines Bereichs des optischen Elements sein. Das heißt, das optische Element wird mit Hilfe des Temperierfluids als Ganzes oder zumindest in einem Volumenbereich auf eine Temperatur gebracht, die es zuvor nicht hatte.

Andererseits kann ein Temperieren aber auch dazu führen, dass eine bestimmte Temperatur oder ein bestimmter Temperaturbereich des optischen Elements oder zumindest eines
25 Bereichs des optischen Elementes aufrechterhalten wird bzw. bleibt.

Diese Überlegungen gelten darüber hinaus allgemein für Bauteile mit einem entsprechenden Substrat, welches eine oder mehrere funktionale Einheiten trägt oder tragen kann und in das Temperierhohlstrukturen eingearbeitet sind, die im Betrieb des Bauteils für eine Temperierung mit einem Temperierfluid durchströmt werden können. Ein solches Bauteil kann
5 beispielsweise eine Sensoreinrichtung bereitstellen; in diesem Fall trägt das Substrat Sensoreinheiten als funktionale Einheiten.

2. Beschreibung des Standes der Technik

Mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlagen werden bei der Chipherstellung dazu verwendet, um Strukturen auf einer Maske auf einen Photolack zu übertragen, der zuvor auf einen Wafer aufgetragen wurde. Dazu wird die Maske mit Licht beleuchtet und verklei-
10 nert auf die lichtempfindliche Schicht abgebildet. In EUV-Projektionsbelichtungsanlagen hat das Licht eine Wellenlänge zwischen ca. 5 nm und ca. 30 nm; die kommerziell erhältlichen Anlagen verwenden Licht mit einer Wellenlänge von 13.5 nm.

Es gibt allerdings keine optischen Materialien, die für derart kurze Wellenlängen ein ausreichend hohes Transmissionsvermögen haben. Daher sind in EUV-Projektionsbelichtungs-
15 anlagen die bei längeren Wellenlängen üblichen Linsen durch Spiegel ersetzt und auch die Maske enthält deswegen ein Muster aus reflektierenden Strukturen.

Die Bereitstellung von Spiegeln für EUV-Projektionsbelichtungsanlagen ist technologisch anspruchsvoll. Das Substrat besteht aus einem Substratmaterial, bei dem es sich in der Regel um Glas, z.B. Quarzglas, titandotiertes Quarzglas wie ULE®, oder um eine Glaskeramik
20 handelt. Geeignete Glaskeramiken werden unter den Handelsnamen Clearceram® oder Zerodur® angeboten und haben die Eigenschaft, bei der Betriebstemperatur des Spiegels einen sehr geringen Wärmeausdehnungskoeffizienten zu haben.

Auf das Substrat wird eine Beschichtung aufgebracht, die das EUV-Licht reflektiert und aus einer Vielzahl dünner Doppelschichten mit wechselnden Brechzahlen besteht.

25 Selbst mit derart aufwendig aufgebauten Beschichtungen beträgt das Reflexionsvermögen der Spiegel für das EUV-Licht jedoch selten mehr als 70%, und auch dies nur für Licht, das senkrecht oder mit Einfallswinkeln von wenigen Grad auf die reflektierende Beschichtung

auftrifft. Der nicht von der Beschichtung reflektierte Anteil des EUV-Lichts wird im Substrat absorbiert und führt dort zu einer erheblichen Erwärmung, da die verwendeten EUV-Lichtquellen sehr leistungsstark sind. Auch wenn Glaskeramiken mit niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten verwendet werden, kann die Erwärmung zu untolerierbaren Formveränderungen der Spiegel führen.

Es wurde daher vorgeschlagen, die Substrate mit Temperierhohlstrukturen zu versehen, die in diesem Fall Kühlhohlstrukturen sind, wobei insbesondere Temperierkanäle in Form von Kühlkanälen bereitgestellt werden, durch die während des Betriebs Wasser oder ein anderes Temperierfluid, d.h. hier ein Kühlfluid, fließt und auf diese Weise Wärme abführt.

10 Solche Temperierkanäle können geringe Querschnittsdurchmesser in der Größenordnung von nur etwa 1 mm^2 haben und verlaufen idealerweise dicht unterhalb der reflektierenden Beschichtung.

Einen Überblick über die bislang bekannten Verfahren zum Erzeugen von Temperierkanälen enthält die Anmeldung DE 10 2021 214 310.5, deren Offenbarung hiermit vollständig aufgenommen wird. Besonders vielversprechend sind Verfahren, bei denen ein Abtrags-Lichtstrahl sukzessive auf Abtragungsorte fokussiert wird, an denen Temperierkanäle entstehen sollen und das Substratmaterial von dem Abtrags-Lichtstrahl abgetragen wird.

Bei diesem Verfahren entsteht an die Abtragungsorte angrenzend, d.h. benachbart zu und nicht an den Fokuspunkten des Lichtstrahls, modifiziertes Substratmaterial, das eine bezogen auf unbearbeitetes Substratmaterial höhere Anfälligkeit gegen ein chemisch aktives Behandlungsmedium hat. Insbesondere gibt es eine höhere Ätzanfälligkeit. Das modifizierte Substratmaterial bildet die eingangs genannte Intermediat-Schicht und die durch Abtragen erzeugten materialfreien Bereiche bilden die eingangs genannte Intermediat-Hohlstruktur, so dass eine entsprechende Intermediat-Struktur ausgebildet ist.

Das modifizierte Substratmaterial entsteht bei diesem Verfahren insbesondere durch Absorption des energiereichen Abtrags-Lichtstrahls und durch thermische Diffusion der entstehenden Prozesswärme aus den Abtragungsorten heraus, wobei es vor der Bearbei-

tung des Substrats keine definierten Anhaltspunkte gibt, in welchem Umfang das modifizierte Material entstehen wird. Bei einem Laser spricht die Fachwelt bei einem Bereich mit modifiziertem Substratmaterial von einer sogenannten Laser Affected Zone, kurz LAZ. Das modifizierte Substratmaterial kann sich bezogen auf das Substratmaterial des Substrats
5 außerdem unter anderem in Dichte, Wärmeausdehnungskoeffizienten und den vorliegenden Materialspannungen unterscheiden.

Ein derart materialinhomogenes Substrat ist jedoch nicht für den Einsatz in einer EUV-Projektionsbelichtungsanlage geeignet. Daher muss das modifizierte Substratmaterial entfernt werden; das modifizierte Substratmaterial wird bei dem bekannten Verfahren in einem
10 nachgelagerten Prozessschritt mit Hilfe eines Ätzmittels wie insbesondere Flusssäure HF oder Kaliumhydroxid KOH weggeätzt; hiernach ist die gewünschte Temperierhohlstruktur ausgebildet. Dies bedeutet, dass das modifizierte Substratmaterial im Ergebnis die Querschnitte im Verlauf der zu erzeugenden Temperierhohlstruktur definiert.

Die Prozessgeschwindigkeit für die Ausbildung der gewünschten Temperierhohlstruktur ist
15 insgesamt besonders durch die Rate der Abtragung limitiert; das Substratmaterial wird über nahezu den gesamten Querschnitt der gewünschten Temperierhohlstruktur abgetragen und das modifizierte Substratmaterial entsteht in der Regel nur mit einer geringen Schichtdicke. Zudem kann es durch Schwankungen im Materialgefüge des Substratmaterials, beispielsweise durch Bereiche mit unterschiedlichen Brechungsindizes/unterschiedli-
20 cher Transmission oder durch die Bildung thermischer Linsen zu Schwankungen im Materialabtrag kommen, was wiederum zu unerwünschten Abweichungen im Querschnittverlauf der Temperierhohlstrukturen und Rauigkeiten an deren Mantelflächen führen kann.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Es ist Aufgabe der Erfindung, Verfahren, ein Substrat, ein optisches Element und eine Anlage für die Halbleitertechnologie der eingangs genannten Art anzugeben, welche diesen
25 Gedanken Rechnung tragen und durch welche insbesondere Temperierhohlstrukturen mit hoher Präzision und Güte sowie guter Prozessgeschwindigkeit in das Substrat eingebracht werden können, so dass unter Verwendung eines solchen optischen Elements unter ande-

rem strukturierte elektronische Bauteile mit signifikant kleinen Strukturen hergestellt werden können, und solche Bauteile bereitzustellen.

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass die Intermediat-Struktur in Schritt (B) erzeugt wird durch

- 5 (B.1) sukzessives Fokussieren eines Modifikations-Lichtstrahls auf Modifikationsorte, so dass an den Modifikationsorten das modifizierte Substratmaterial entsteht;

und

- (B.2) sukzessives Fokussieren eines Abtragungs-Lichtstrahls auf Abtragungsorte, so dass an den Abtragungsorten Material abgetragen wird.

- 10 Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass mittels einer Kombination einer gezielten Erzeugung von modifiziertem Material mit einer gezielten Abtragung von Material Temperierhohlstrukturen hoher Qualität und homogen rauheitsfreier Oberflächenbeschaffenheit in ein Substrat eingearbeitet werden können. Während bei dem bekannten Verfahren das modifizierte Substratmaterial weitgehend unvorhersehbar entsteht, wird das modifizierte
- 15 Substratmaterial erfindungsgemäß gezielt mit einem Modifikations-Lichtstrahl erzeugt. Dadurch ist vor allem der Querschnittsverlauf der Temperierhohlstrukturen mit hoher Präzision planbar.

Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den nachfolgenden Merkmalen und im Weiteren aus der Beschreibung der Erfindung.

- 20 Vorteilhaft ermöglicht es das Verfahren, dass eine erste Prozessroute (P1) oder eine zweite Prozessroute (P2) durchgeführt wird, wobei
- bei der ersten Prozessroute (P1) in einem ersten Prozessschritt (P1-S1) der Schritt (B.1) und in einem zweiten Prozessschritt (P1-S2) der Schritt (B.2) durchgeführt wird; und
 - bei der zweiten Prozessroute (P2) in einem ersten Prozessschritt (P2-S1) der Schritt (B.2)
- 25 und in einem zweiten Prozessschritt (P2-S2) der Schritt (B.1) durchgeführt wird.

Die Reihenfolge von Modifizieren und Abtragen kann also wahlweise erfolgen.

Wenn die erste Prozessroute (P1) durchgeführt wird, ist es günstig, wenn

in deren ersten Prozessschritt (P1-S1) durch Schritt (B.1) Materialstrukturen erzeugt werden, welche modifiziertes Substratmaterial umfassen; und

- 5 in deren zweiten Prozessschritt (P1-S2) Material durch Schritt (B.2) derart abgetragen wird, dass die Intermediat-Hohlstruktur erzeugt wird und für die Intermediat-Schicht modifiziertes Substratmaterial der Materialstruktur stehen gelassen wird.

Im Vergleich zu bekannten Verfahren, bei denen nahezu das gesamte Substratmaterial über den Querschnitt der gewünschten Temperierhohlstruktur abgetragen wird, ist das
10 Volumen hier um den Anteil verringert, der durch das stehengelassene modifizierte Substratmaterial definiert ist. Dadurch wird für das Abtragen des Materials weniger Zeit benötigt.

Hierbei eröffnet das Verfahren erneut vorteilhaft zwei alternative Vorgehensweisen, da im ersten Prozessschritt (P1-S1) der ersten Prozessroute (P1) der Schritt (B.1) derart durchgeführt
15 werden kann, dass Materialstrukturen einer ersten Art oder Materialstrukturen einer zweiten Art erzeugt werden, wobei

- bei Materialstrukturen der ersten Art das modifizierte Substratmaterial querschnittfüllend erzeugt wird; und
- bei Materialstrukturen der zweiten Art modifiziertes Substratmaterial derart erzeugt
20 wird, dass ein Kernbereich aus Substratmaterial verbleibt, der zumindest bereichsweise von modifiziertem Substratmaterial begrenzt ist.

Wenn dann im zweiten Prozessschritt (P1-S2) der ersten Prozessroute (P1) der Schritt (B.2) durchgeführt wird, kann bei Materialstrukturen der ersten Art modifiziertes Substratmaterial und bei Materialstrukturen der zweiten Art das Substratmaterial des Kernbereichs derart
25 abgetragen werden, dass die Intermediat-Hohlstruktur erzeugt wird und die Intermediat-Schicht durch das stehengelassene modifizierte Substratmaterial der Materialstruktur gebildet wird.

Wenn die zweite Prozessroute (P2) durchgeführt wird, ist es günstig, wenn

in deren ersten Prozessschritt (P2-S1) durch Schritt (B.2) Substratmaterial des Substrats derart abgetragen wird, dass die Intermediat-Hohlstruktur erzeugt wird; und

in deren zweiten Prozessschritt (P2-S2) durch Schritt (B.1) die Intermediat-Schicht aus modifiziertem Material erzeugt wird, so dass die Intermediat-Struktur entsteht.

Auch hier wird weniger Material abgetragen als beim Stand der Technik und entsprechend weniger Zeit benötigt.

Dabei wird vorzugsweise bei dem zweiten Prozessschritt (P2-S2) der zweiten Prozessroute (P2) die Intermediat-Hohlstruktur mit einer Hilfsflüssigkeit gefüllt, so dass sie mit der Hilfsflüssigkeit gefüllt ist, wenn Schritt (B.1) durchgeführt wird. Auf diese Weise können unerwünschte Streueffekte an der Mantelfläche der Intermediat-Hohlstruktur vermindert werden. Dabei wird die Hilfsflüssigkeit vorzugsweise als stehendes Flüssigkeitsvolumen gehalten.

Bevorzugt wird zu diesem Zweck eine Hilfsflüssigkeit verwendet deren Brechungsindex n_F bei der Wellenlänge des Modifikations-Lichtstrahls zum Brechungsindex n_M des Substratmaterials bei derselben Wellenlänge mit einer Toleranz von weniger als 20%, bevorzugt mit einer Toleranz von weniger als 10%, bevorzugter mit einer Toleranz von weniger als 5% und besonders bevorzugt mit einer Toleranz von weniger als 1% bezogen auf den Brechungsindex n_M des Substratmaterials passt.

Weiter vorzugsweise werden Abtragungsorte mit einem Spülfluid beaufschlagt, während Schritt (B.2) durchgeführt wird, wodurch durch den Abtragungs-Lichtstrahl abgetragenes Material weggespült wird.

Für die finale Ausbildung der Temperierhohlstruktur ist von besonderem Vorteil, wenn die Intermediat-Hohlstruktur in Schritt (C) zumindest zeitweise, vorzugsweise zeitlich durchgehend, von dem Behandlungsmedium durchströmt wird. Hierfür ist die Intermediat-Hohlstruktur vorzugsweise derart erzeugt worden, dass sie sich zwischen zwei Öffnungen des Substrats erstreckt.

Vorzugsweise ist das chemisch aktive Behandlungsmedium ein Ätzmedium, ein Oxidationsmittel oder ein Reduktionsmittel. Die ätzende, oxidative oder reduktive Wirkung kann auch kombiniert vorliegen. Besonders bevorzugt ist es, dass das chemisch aktive Behandlungsmedium ein Ätzmedium ist, durch welches in Schritt (C) die Intermediat-Schicht aus dem modifizierten Substratmaterial durch einen Ätzprozess entfernt wird.

Bei dem eingangs genannten Verfahren zur Herstellung eines optischen Elements, insbesondere zur Herstellung eines Spiegels für eine EUV-Projektionsbelichtungsanlage, werden Temperierhohlstrukturen gemäß dem oben erläuterten Verfahren in ein Substrat eingearbeitet und umfasst eine weitere Bearbeitung einen oder mehrere Schritte einer chemischen und/oder physikalischen Bearbeitung mindestens einer Oberfläche des Substrats sowie das Erzeugen oder Aufbringen einer Beschichtung auf das Substrat, die zumindest dazu eingerichtet ist, senkrecht oder nahezu senkrecht auftreffendes EUV-Licht zu mindestens 50% zu reflektieren.

Bei einem Substrat der eingangs genannten Art wird die oben genannte Aufgabe dadurch gelöst, dass wenigstens eine Temperierhohlstruktur eine Innenmantelfläche definiert, welche zumindest bereichsweise einen Mittenrauwert R_a gemäß DIN EN ISO 25178, Stand 04/2023, zwischen $10,0\text{ }\mu\text{m}$ und $5,0\text{ }\mu\text{m}$ hat, der insbesondere zwischen $10,0\text{ }\mu\text{m}$ und $6,5\text{ }\mu\text{m}$, zwischen $10,0\text{ }\mu\text{m}$ und $8,0\text{ }\mu\text{m}$, zwischen $8,5\text{ }\mu\text{m}$ und $5,0\text{ }\mu\text{m}$, zwischen $7,0\text{ }\mu\text{m}$ und $5,0\text{ }\mu\text{m}$ oder zwischen $8,5\text{ }\mu\text{m}$ und $6,5\text{ }\mu\text{m}$ liegen kann, oder welche zumindest bereichsweise einen Mittenrauwert R_a von $5,0\text{ }\mu\text{m}$ und weniger hat, der insbesondere zwischen $5,0\text{ }\mu\text{m}$ und $0,1\text{ }\mu\text{m}$, bevorzugt zwischen $4,5\text{ }\mu\text{m}$ und $0,125\text{ }\mu\text{m}$, zwischen $4,0\text{ }\mu\text{m}$ und $0,15\text{ }\mu\text{m}$, zwischen $3,5\text{ }\mu\text{m}$ und $0,175\text{ }\mu\text{m}$ oder zwischen $3,0\text{ }\mu\text{m}$ und $0,2\text{ }\mu\text{m}$ liegt.

Die oben genannte Aufgabe wird auch gelöst durch ein Substrat der eingangs genannten Art, bei dem wenigstens eine Temperierhohlstruktur eine Innenmantelfläche definiert, die eine Oberflächentopographie aufweist, deren geometrische Gestalt sich aus einer wenigstens bereichsweisen Überlagerung von Senkstrukturen ergibt, die sich in ein Substratmaterial des Substrats hinein erstrecken.

Vorzugsweise sind ein oder mehrere Senkstrukturen Segmente von in sich punktsymmetrischen oder zumindest achssymmetrischen Körpern.

Vorteilhaft definiert die Oberflächentopographie dabei aneinandergrenzende Senkbereiche, zwischen denen Randbezirke, insbesondere linienhafte Randbezirke, verlaufen.

Ein oder mehrere Senkbereiche können achssymmetrisch oder nicht achssymmetrisch sein.

Es ist günstig, wenn ein achssymmetrischer Senkbereich einem Abschnitt der Außenmantelfläche eines Kugelsegments, eines Ellipsoidsegments oder eines Paraboloids folgt.

Vorteilhaft ist eine Temperierhohlstruktur ein Temperierkanal, der eines oder mehrere der folgenden Merkmale hat:

- a) der Temperierkanal hat einen Durchmesser zwischen 0,5 mm und 20 mm, bevorzugt zwischen 1 mm und 5 mm;
- 10 b) der Temperierkanal hat eine Länge von mindestens 10 cm, mindestens 15 cm oder mindestens 20 cm.
- c) der Temperierkanal ist gekrümmt oder weist zumindest einen gekrümmten Abschnitt auf;
- d) der Temperierkanal weist einen Abschnitt auf, welcher der Krümmung einer Trägerfläche für eine Beschichtung des Substrats folgt;
- 15 e) der Temperierkanal weist einen stark gekrümmten Abschnitt auf, der einen Krümmungswinkel zwischen 60° und 120°, insbesondere zwischen 80° und 100°, bevorzugt von etwa 90° hat;
- f) der Temperierkanal weist einen stark gekrümmten Abschnitt auf, der einen Krümmungswinkel zwischen 60° und 120°, insbesondere zwischen 80° und 100°, bevorzugt von etwa 90° hat und einem Bogen folgt;
- 20 g) der Temperierkanal weist einen stark gekrümmten Abschnitt auf, der einen Krümmungswinkel zwischen 60° und 120°, insbesondere zwischen 80° und 100°, bevorzugt von etwa 90° hat und einem Bogen folgt und einen äußeren Krümmungsradius R und
25 einen Durchmesser D definiert, wobei ein Verhältnis R/D des Krümmungsradius R zum

Durchmesser D zwischen 2 und 6, bevorzugt zwischen 2,5 und 5 und insbesondere bevorzugt zwischen 2,5 und 3,5 liegt;

- h) der Temperierkanal bezogen auf eine Trägerfläche für eine Beschichtung des Substrats in einem Abstand von 1,0 mm bis 50,0 mm, von 1,0 mm bis 20,0 mm, von 1,0 mm bis 10,0 mm oder von 1,0 mm bis 5,0 mm verläuft.

Eine sichere Gewährleistung von guten Strömungseigenschaften wird außerdem erfindungsgemäß dadurch bei einem Substrat der eingangs genannten Art, welches eine Trägerfläche für eine Beschichtung definiert, erreicht, dass die Passe der Trägerfläche sich bei einer Lebensdauer des Substrats von bis zu 10 Jahren, zumindest bis zu fünf Jahren und mindestens bis zu zwei Jahren um weniger als 100 pm, insbesondere um weniger als 50 pm und weiter insbesondere um weniger als 25 pm ändert.

Synergetisch vorteilhaft können einige oder alle der oben erläuterten Merkmale bei einem Substrat auch in Kombinationen verwirklicht sein.

Vorzugsweise sind Temperierhohlstrukturen gemäß dem oben erläuterten Verfahren in das Substrat eingearbeitet.

Bei einem optischen Element der eingangs genannten Art ist die oben angegebene Aufgabe durch ein Substrat mit einigen oder allen der oben dazu beschriebenen Merkmalen gelöst.

Die Passe des optischen Elements ändert sich vorteilhaft bei einer Lebensdauer des optischen Elements von bis zu 10 Jahren, zumindest bis zu fünf Jahren und mindestens bis zu zwei Jahren um weniger als 100 pm, insbesondere um weniger als 50 pm und weiter insbesondere um weniger als 25 pm.

Diese Eigenschaften wirken sich besonders vorteilhaft bei einem Spiegel für eine EUV-Projektionsbelichtungsanlage aus, wobei das Substrat eine Trägerfläche hat, welche eine Beschichtung trägt, die zumindest dazu eingerichtet ist, senkrecht oder nahezu senkrecht auftreffendes EUV-Licht zu mindestens 50% zu reflektieren.

Vorteilhaft werden die genannten Eigenschaften des optischen Elements kombiniert.

Bei einer Anlage der Halbleitertechnologie wird die Aufgabe durch ein solches optisches Element gelöst,

Dies ist bei einer EUV-Projektionsbelichtungsanlage von besonderem Vorteil.

Bei einem strukturierten elektronischen Bauelement wird die oben genannte Aufgabe
5 dadurch gelöst, dass es mit Hilfe einer solchen Anlage der Halbleitertechnologie hergestellt wurde.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnungen näher erläutert. In diesen zeigen:

Figur 1 schematisch einen Schnitt eines optischen Elements in Form eines Spiegels für
10 eine EUV-Projektionsbelichtungsanlagen, welcher Temperierhohlstrukturen in Form von Temperierkanälen aufweist, die mittels eines Kühlsystems von einem Kühlfluid durchströmt werden;

Figur 2 ein Modifikations-Bearbeitungssystem, mittels welchem auf dem Wege einer
15 ersten Prozessroute durch sukzessives Fokussieren eines Modifikations-Lichtstrahls auf Modifikationsorte an den Modifikationsorten modifiziertes Substratmaterial entsteht, wobei Materialstrukturen aus modifiziertem Substratmaterial in das Substrat eingearbeitet werden;

Figur 3A den Ausschnitt III A gemäß Figur 2 in größerem Maßstab, wobei Materialstrukturen einer ersten Art eingearbeitet werden, die querschnittfüllend sind;

20 Figur 3B einen Schnitt gemäß der Schnittlinie III B-III B in Figur 3A;

Figur 4 das Substrat mit eingearbeiteten Materialstrukturen der ersten Art;

Figuren 5A und 5B die Ausschnitte V A und V B in Figur 4 in größerem Maßstab;

Figur 6A einen dem Ausschnitt gemäß Figur 3A entsprechenden Ausschnitt, wobei Materialstrukturen einer zweiten Art eingearbeitet werden, bei denen im Querschnitt

ein Kernbereich aus Substratmaterial verbleibt;

Figur 6B einen Schnitt gemäß der Schnittlinie VI B-VI B in Figur 6A;

Figur 7 den Ausschnitten gemäß den Figuren 5A und 5B entsprechende Ausschnitte mit den Materialstrukturen der zweiten Art;

- 5 Figur 8 ein Abtragungs-Bearbeitungssystem, mittels welchem durch sukzessives Fokussieren eines Abtragungs-Lichtstrahls auf Abtragungsorte in dem Substrat an den Abtragungsorten Material abgetragen wird, wobei Intermediat-Hohlstrukturen in den Materialstrukturen aus modifiziertem Substratmaterial erzeugt werden;

Figur 9A den Ausschnitt IX A gemäß Figur 8 in größerem Maßstab;

- 10 Figur 9B einen Schnitt gemäß der Schnittlinie IX B-IX B in Figur 9A;

Figur 10 das Substrat mit eingearbeiteten Intermediat-Strukturen;

Figuren 11A und 11B die Ausschnitte XI A und XI B in Figur 10 in größerem Maßstab;

- Figur 12 das Abtragungs-Bearbeitungssystem von Figur 8, wobei Intermediat-Hohlstrukturen auf dem Wege einer zweiten Prozessroute in dem Substratmaterial erzeugt werden;
- 15

Figur 13A den Ausschnitt XIII A gemäß Figur 12 in größerem Maßstab;

Figur 13B einen Schnitt gemäß der Schnittlinie XIII B-XIII B in Figur 13A;

Figur 14 das Substrat mit eingearbeiteten Intermediat-Hohlstrukturen;

Figuren 15A und 15B die Ausschnitte XV A und XV B in Figur 14 in größerem Maßstab;

- 20 Figur 16 ein abgewandeltes Modifikations-Bearbeitungssystem nach Figur 2 mit einer Vorrichtung zum Einbringen einer Hilfsflüssigkeit in die Intermediat-Hohlstrukturen;

Figur 17A den Ausschnitt XVII A in Figur 16 in größerem Maßstab;

Figur 17B den Schnitt gemäß der Schnittlinie XVII B-XVII B in Figur 17A;

Figur 18 ein Ätz-Bearbeitungssystem, mit dem ein Ätzmedium in die Intermediat-Hohlstrukturen der Intermediat-Strukturen eingebracht werden kann;

Figuren 19A und 19B die Ausschnitte XIX A und XIX B in Figur 18 in größerem Maßstab;

5 Figuren 20A und 20B den Figuren 19A und 19B entsprechende Ausschnitte nach Abschluss des Ätzvorgangs;

Figur 21 eine Veranschaulichung der Korrekturmöglichkeit von Unregelmäßigkeiten in den Intermediat-Hohlstrukturen;

10 Figur 22 ein Substrat für einen EUV-Spiegel, in welches Temperierhohlstrukturen auf dem Wege der ersten oder der zweiten Prozessroute eingearbeitet wurden;

Figur 23A eine Topographie-Aufnahme eines Oberflächenbereichs einer Temperierhohlstruktur;

Figur 23B einen Schnitt zur Veranschaulichung eines erreichten Mittenrauwertes R_a ;

Figur 24 schematisch einen Längsschnitt einer Temperierhohlstruktur;

15 Figur 25 den Ausschnitt XXV in Figur 22 in vergrößertem Maßstab;

Figur 26A eine Passe-Aufnahme eines Substrats mit Intermediat-Strukturen vor einem Ätzprozess;

Figur 26B eine Passe-Aufnahme dieses Substrats mit erhaltenen Temperierhohlstrukturen nach einem Ätzprozess;

20 Figur 26C eine Differenzdarstellung der Aufnahmen nach den Figuren 26A und 26B;

Figur 27 schematisch eine Anlage der Halbleitertechnologie am Beispiel einer EUV-Projektionsbelichtungsanlage.

BESCHREIBUNG BEVORZUGTER AUSFÜHRUNGSBEISPIELE

1. Aufbau eines optischen Elements am Beispiel eines EUV-Spiegels

In Figur 1 ist eine eingangs erläuterte Anlage der Halbleitertechnologie übergreifend mit 6 bezeichnet und ein Schnitt eines insgesamt mit 8 bezeichneten optischen Elements gezeigt, welches beispielhaft als Spiegel 10 für eine EUV-Projektionsbelichtungsanlage veranschaulicht ist. Der Spiegel 10 kann dort im Beleuchtungssystem oder im Projektionsobjektiv angeordnet sein.

Das optische Element 8 und somit der Spiegel 10 umfasst ein Substrat 12 aus einem Substratmaterial 12a, das beim vorliegenden Ausführungsbeispiel des Spiegels 10 also ein Spiegelsubstrat ist. Ein solches Spiegelsubstrat ist in der Praxis insbesondere ein titandotiertes Quarzglas.

10 Das Substrat 12 ist beim vorliegenden Ausführungsbeispiel monolithisch, was auch die bevorzugte Ausführungsform ist. Bei nicht eigens gezeigten Abwandlungen kann das Substrat 12 aber auch aus Teilsegmenten zusammengefügt sein. Grundsätzlich sind in diesem Fall additive Fertigungsverfahren geeignet. Beispielsweise kommen 3D-Druckverfahren ebenso in Betracht wie Laser-Schweißverfahren oder Techniken zum thermischen Bonden von Werkstücken.

Das Substrat 12 hat im Fall des Spiegels 10 eine präzise bearbeitete Oberfläche 14, deren Krümmung die optischen Eigenschaften des Spiegels 10 bestimmt. Die Oberfläche 14 des Substrats 12 dient als Trägerfläche und wird im Weiteren auch so bezeichnet. Die Trägerfläche 14 trägt eine Beschichtung 16, welche unter anderem für die optischen Eigenschaften des optischen Elements 8 sorgt. Bei dem hier gezeigten Spiegel 10 ist die Beschichtung 16 so eingerichtet, dass sie auftreffendes EUV-Licht 18 überwiegend reflektiert. Wie in dem vergrößerten Ausschnitt A veranschaulicht, ist diese Beschichtung 16 beim vorliegenden Ausführungsbeispiel mehrlagig ausgeführt und insbesondere aus mehreren Doppelschichten 20 aufgebaut, die auf die Trägerfläche 14 aufgebracht wurden. Die Beschichtung 16 hat einen Reflexionskoeffizienten von mindestens 50%, vorzugsweise von mehr als 70%, für senkrecht auftreffendes EUV-Licht 18. Der im Betrieb erreichte Reflexionsgrad

hängt vom Auftreffwinkel des EUV-Lichts 18 ab.

Die Beschichtung 16 kann neben den Doppelschichten 20 auch noch weitere Schichten umfassen, welche nicht zur Reflexion, aber gegebenenfalls zu Stabilisierung und/oder zum Schutz der Beschichtung 16 oder des optischen Elements 8 bzw. des Spiegels 10 beitragen. Beispielsweise kann hierdurch ein Schutz gegenüber Komponenten eines Wasserstoff-Plasmas etabliert werden. Solche weiteren Schichten können zwischen den Doppelschichten 20 im Innern der Beschichtung 16, zwischen den Doppelschichten 20 und der Trägerfläche 14 und/oder auf der von der Trägerfläche 14 abliegenden Seite der Doppelschichten 20 vorgesehen sein.

Bei einem optischen Element 8 kann die Beschichtung 16 auch dadurch ausgebildet sein, dass die Außenfläche des Substrats 12 durch eine Bearbeitung und/oder Behandlung modifiziert wird. In diesem Fall ist die Beschichtung 16 also keine eigens aufgetragene Beschichtung, sondern definiert vielmehr eine Schicht des Substrats 12 als solches; die darunter liegende Fläche als Übergang zum Substratmaterial 12a ist dann die Trägerfläche 14.

Bei dem hier erläuterten Spiegel 10 und der Anwendung von EUV-Licht 18 tritt der nicht reflektierte Anteil in das Substrat 12 ein und wird dort absorbiert, und zwar überwiegend in der Nähe der Trägerfläche 14. Infolge dieser Absorption erwärmt sich das Substrat 12 vor allem in der Nähe der Bereiche der Trägerfläche 14, die dem EUV-Licht 18 ausgesetzt sind. Da der thermische Ausdehnungskoeffizient des Substratmaterials 12a nicht identisch Null und zudem selbst temperaturabhängig ist, kann es aufgrund der Erwärmung zu Formveränderungen des Substrats 12 kommen, die sich auf die optischen Eigenschaften des Spiegels 10 auswirken. Bezogen auf optische Elemente 8 können sich allgemein ausgedrückt Temperaturveränderungen im Substrat 12 auf die optischen Eigenschaften des optischen Elements 8 auswirken.

Aufgrund der extrem engen Spezifikationen in EUV-Projektionsbelichtungsanlagen sind jedoch Veränderungen der optischen Eigenschaften der dortigen Spiegel nicht oder allenfalls in vernachlässigbarem Umfang tolerierbar. Aber auch wieder allgemein sollen bei op-

tischen Elementen 8 die optischen Eigenschaften stabil und bei Bauteilen die Funktionsfähigkeit erhalten bleiben.

Um Temperaturschwankungen im Substratmaterial 12a und damit einhergehende Formveränderungen des Substrats 12 zu minimieren, sind in das Substrat 12 mehrere Temperierhohlstrukturen 22 eingearbeitet.

Diese Temperierhohlstrukturen 22 werden während des Betriebs der EUV-Projektionsbelichtungsanlage von einem Temperierfluid in Form eines Kühlfluids 24 durchströmt, wobei in der Praxis Kühlwasser eingesetzt wird; aber auch andere Kühlflüssigkeiten und Kühlmedien sind möglich.

Das Kühlfluid 24 nimmt die vom EUV-Licht 18 eingetragene Wärmemenge auf und führt sie aus dem Substrat 12 ab. Zu diesem Zweck sind die Temperierhohlstrukturen 22 mit einer Kühleinheit 26 und einer Pumpeinheit 28 eines insgesamt mit 30 bezeichneten Kühlsystems verbunden. Die Pumpeinheit 28 saugt das Kühlfluid 24 aus den Temperierhohlstrukturen 22 an und leitet es über eine Rückleitung 32 der Kühleinheit 26 zu. Dort wird das Kühlfluid 24 auf seine Solltemperatur heruntergekühlt, bevor es erneut die Temperierhohlstrukturen 22 durchströmt. Dieser Kreislauf ist in Figur 1 durch entsprechende Pfeile veranschaulicht.

Typischerweise verlaufen die Temperierhohlstrukturen 22 in der Nähe der Trägerfläche 14 und mindestens bereichsweise parallel dazu.

Bei den hier beschriebenen Ausführungsbeispielen sind die Temperierhohlstrukturen 22 als Temperierkanäle 34 ausgebildet, von denen drei Temperierkanäle 34.1, 34.2 und 34.3 veranschaulicht sind. Die Temperierkanäle 34 erstrecken sich jeweils zwischen zwei Öffnungen 36, die in Figur 1 nur bei dem Temperierkanal 34.1 bezeichnet sind, wobei jeder Temperierkanal 34 über seine Öffnungen 36 mit der Kühleinheit 26 und mit der Pumpeinheit 28 verbunden ist. Die Öffnungen 36 definieren somit je nach Zuordnung jeweils einen Einlass oder einen Auslass der Temperierkanäle 34 für das Kühlfluid 24. Der Querschnitt der Temperierkanäle 34 muss nicht konstant sein und kann z.B. kreisförmig, oval, rechteckig oder auch ringförmig sein. Die Temperierhohlstrukturen 22 können abhängig von

der Position im Substrat 12 sich verändernde Querschnitte und Formen haben. Bei den vorliegenden Ausführungsbeispielen sind die Öffnungen 36 der Temperierkanäle 34 auf der der Trägerfläche 14 gegenüberliegenden Rückseite 38 des Substrats 12 angeordnet.

Bei den Temperierhohlstrukturen 22 kann es sich bei nicht eigens gezeigten Abwandlungen auch um ausgedehntere Kammern handeln, in denen das Kühlfluid 24 nur langsam
5 ausgetauscht wird und in denen keine Längsachse definiert ist, wie sie für einen Kanal charakteristisch ist.

Auch ist die in den Figuren dargestellte Anordnung der Temperierkanäle 34 nur beispielhaft und kann in realen Systemen anders sein; auch die Anzahl der Temperierkanäle 34
10 kann größer oder kleiner sein. Beispielsweise können die Öffnungen 36 auch an den seitlichen Flanken des Substrats 12 angeordnet sein oder es kann mindestens ein Temperierkanal 34 vorgesehen sein, der das Substrat 12 oder einen Teil davon mäanderförmig oder spiralförmig durchläuft.

Bei einer weiteren Abwandlung können sich auch ein oder mehreren Temperierkanäle 34
15 ausgehend von einem Verteilerstrang oder einer Verteilerkammer im Substrat 12 erstrecken; solche Temperierkanäle 34 münden dann mit ihren Öffnungen 36 an einer oder an beiden Enden in einem derartigen Verteilstrang oder Verteilerkammer, aus welcher die Temperierkanäle 34 dann mit dem Temperierfluid gespeist werden. Der Verteilerstrang oder die Verteilerkammer und gegebenenfalls das hiervon abliegende Ende eines Temperierkanals 34 sind dann entsprechend mit dem Kühlsystem 30 verbunden.
20

Auf die Temperierkanäle 34 und insbesondere den Temperierkanal 34.1 wird nachfolgend bei allen Ausführungsbeispielen repräsentativ für allgemein jede Art und Anordnung von Temperierhohlstrukturen 22 Bezug genommen.

Bei der Herstellung eines optischen Elements 8 unter Anwendung der hier beschriebenen
25 Verfahren zum Erzeugen von Temperierhohlstrukturen 22 definieren sich verschiedene Stadien des Substrats 12.

Ein erstes Stadium des Substrats 12 definiert eine Art Rohsubstrat 12', der noch weitgehend unbearbeitet und unbehandelt ist und bei dem strukturell noch keine Trägerfläche

14 ausgebildet ist. Bei dem oben erläuterten Substrat 12, das ein Spiegelsubstrat ist, ist eine solches Rohsubstrat zum Beispiel ein Glasquader aus titandotiertem Quarzglas.

Ein zweites Stadium des Substrats 12 definiert ein Trägersubstrat 12'', bei welchem die Trägerfläche 14 erzeugt und ausgebildet ist. Hierfür können eine Vielzahl von chemischen und/oder physikalischen Arbeitsschritten nötig sein, die Vorgänge wie Schleifen, Drehen, Polieren und/oder Ätzen umfassen können.

Ein drittes Stadium des Substrats 12 definiert dann ein Elementsubstrat 12''', bei dem die Trägerfläche 14 zumindest mit der die optischen Eigenschaften bestimmenden Beschichtung 16 versehen ist. Wenn das resultierende optische Element ein Spiegel ist, ist das Elementsubstrat 12''' terminologisch folglich ein Spiegelsubstrat. Dementsprechend trägt das Substrat 12 in Figur 1 auch das Bezugszeichen 12''', da es dort im Stadium des Elementsubstrats gezeigt ist. Wenn das Substrat 12 beispielsweise Teil einer Sensoreinrichtung ist, wie es eingangs beschrieben ist, ist das Elementsubstrat 12''' terminologisch entsprechend ein Sensorsubstrat.

Die nachfolgend beschriebene Erzeugung der Temperierhohlstrukturen 22 in dem Substrat 12 kann grundsätzlich in jedem Stadium des Substrats 12 erfolgen. In der Regel erfolgt dies im Stadium des Rohsubstrats 12', kann aber auch beispielsweise im Stadium des Trägersubstrats 12'' oder gar im Stadium des Elementsubstrats 12''' durchgeführt werden.

Vorliegend wird das Erzeugen der Temperierhohlstrukturen 22 insbesondere am Beispiel des Trägersubstrats 12'' erläutert, um die beim vorliegenden Ausführungsbeispiel angedachte Funktion des später erhaltenen Spiegels 10 zu veranschaulichen.

2. Erzeugen der Temperierhohlstrukturen am Beispiel der Temperierkanäle

Die Figuren 2 bis 9 veranschaulichen eine erste Prozessroute P1, mit der in den Figuren 10 und 11 zu erkennende Intermediat-Strukturen 40 in das Substrat 12 eingearbeitet werden können, welche eine Intermediat-Schicht 42 aus modifiziertem Substratmaterial 44 und eine Intermediat-Hohlstruktur 46 umfassen, die von der Intermediat-Schicht 42 zumindest

bereichsweise begrenzt ist.

Das modifizierte Substratmaterial 44 hat eine bezogen auf das Substratmaterial 12a erhöhte Anfälligkeit gegen ein chemisch reaktives Behandlungsmedium und kann in einem nachgelagerten Prozess entfernt werden, wodurch ausgehend von den Intermediat-Strukturen 40 die gewünschten Temperierhohlstrukturen 22, d.h. hier die Temperierkanäle 34, fertiggestellt werden; hierauf wird weiter unten eingegangen.

Die Figuren 12 bis 17 veranschaulichen eine zweite Prozessroute P2, mit dem die Intermediat-Strukturen 40 in das Substrat 12 eingearbeitet werden können.

Die Intermediat-Hohlstrukturen 46 erstrecken sich bei den nachfolgend beschriebenen Ausführungsbeispielen jeweils zwischen zwei Öffnungen des Substrats, die sich an der Stelle der späteren Öffnungen 36 der Temperierkanäle 34 befinden.

2.1 Erste Prozessroute P1 zu Intermediat-Strukturen 40

Zunächst veranschaulicht Figur 2 das Substrat 12 mit einer gestrichelten Außenkonturlinie als Rohsubstrat 12' und mit durchgezogenen Linien als Trägersubstrat 12'', d.h. als Substrat 12 mit bereits ausgebildeter Trägerfläche 14, bevor die reflektierenden Beschichtung 16 aufgebracht wird.

Im Weiteren ist bei den Ausschnittsvergrößerungen nur das Substrat 12 bezeichnet. Die Außenkontur des Rohsubstrats 12' ist im Weiteren gegebenenfalls nur teilweise am Rand angedeutet. Auch in dem Rohsubstrat 12' ist der Verlauf der späteren Trägerfläche 14 bereits festgelegt und diese dann gedachte Trägerfläche 14 dient als Bezugsfläche, um den Verlauf der Temperierhohlstrukturen 22 im Substrat 12 zu definieren.

Figur 2 zeigt ein Modifikations-Bearbeitungssystem 48 einer übergeordnet mit 50 bezeichneten Bearbeitungsvorrichtung. Mit dem Modifikations-Bearbeitungssystem 48 können in einem ersten Prozessschritt P1-S1 der ersten Prozessroute P1 Materialstrukturen 52 aus modifiziertem Substratmaterial 44 in das Substrat 12 eingearbeitet werden. Hierbei gibt es zwei Alternativen und es können Materialstrukturen 52 einer ersten Art oder Materialstrukturen 52 einer zweiten Art erzeugt werden, die mit 52-I bzw. 52-II gekennzeichnet

sind.

Das Modifikations-Bearbeitungssystem 48 umfasst eine Lichtquelle 54, die einen Modifikations-Lichtstrahl 56 erzeugt. Bei der Lichtquelle 54 handelt es sich vorzugsweise um einen leistungsstarken Laser, der kurze oder ultrakurze Pulse erzeugt. Dies können Pulse im
5 Femto-, Pico- oder Nanosekundenbereich sein.

Der Modifikations-Lichtstrahl 56 kann mit Hilfe einer Fokussiervorrichtung 58, die eine Scaneinrichtung 60 und einer Fokussierlinse 62 umfasst, auf verschiedene Orte des Substrats 12 gerichtet werden. Die relative Anordnung zwischen dem Substrat 12 und dem Modifikations-Bearbeitungssystem 48 kann zudem mit Hilfe eines nicht dargestellten Ver-
10 fahrtischs so verändert werden, dass der Bearbeitungslichtstrahl 56 nach Durchtreten der Fokussierlinse 62 auf jeden Ort des Substrats 12 gerichtet werden kann. Die Scaneinrichtung 60, die Fokussierlinse 62 und ein gegebenenfalls vorhandener Verfahrtisch werden dabei von einer Steuereinrichtung 64 so gesteuert, dass der Bearbeitungslichtstrahl 56 sukzessive auf alle Modifikationsorte 66 des Substrats 12 fokussiert wird, an denen Tem-
15 perierkanäle 34 entstehen sollen. Alternativ hierzu kann die relative Anordnung zwischen dem Substrat 12 und dem Modifikations-Bearbeitungssystem 48 durch Verfahren des Modifikations-Bearbeitungssystem 50 verändert werden. Bei kleinen Substraten 12 kann auf Verfahrensvorgänge verzichtet werden, sofern die Scaneinrichtung 60 einen ausreichend großen Bereich abdeckt.

20 An den von der Fokussierlinse 62 erzeugten Fokuspunkten ist die Intensität des Modifikations-Lichtstrahls 56 so hoch, dass das Material des Substrats 12 dort gezielt insbesondere durch Absorption des energiereichen Modifikations-Lichtstrahls 56 modifiziert wird, wobei es dabei weitgehend keinen Materialverlust gibt. Diese Modifikation kann gleichsam als gezielte Schädigung des Substratmaterials 12a verstanden werden, die das Material
25 schwächt und zu der erhöhten Anfälligkeit gegen ein chemisch aktives Behandlungsmedium führt. Vorliegend führt die Modifikation zu einer erhöhten Ätzanfälligkeit. Dabei definiert der Bereich, in dem der Modifikations-Lichtstrahl 56 das Substratmaterial 12a modifiziert, einen jeweiligen Modifikationsort 66, der sich naturgemäß mit dem Fokuspunkt des Modifikations-Lichtstrahls 56 mitbewegt.

Die Orte der Fokuspunkte und somit die Modifikationsorte 66 bestimmen, wo und mit welcher Geometrie und welchen Querschnitten später ein Temperierkanal 34 im Substrat 12 entsteht. Um einen Temperierkanal 34 mit einem ausreichend großem Querschnitt zu erzeugen, fährt der Bearbeitungslichtstrahl 56 auf einer bestimmten axialen Position den gesamten Querschnitt in radialer Richtung gemäß einem vorgegebenen Muster ab. Dann
5 wird dieser Prozess an jeweils benachbarten axialen Positionen wiederholt, bis die Materialstruktur 52 aus dem modifizierten Substratmaterial 44 die gewünschte axiale Abmessung hat.

Die Figuren 2 und 3 zeigen dabei zunächst, wie Materialstrukturen 52 der ersten Art 52-I
10 eingearbeitet werden, die in den Figuren 4 und 5 nach ihrer Fertigstellung gezeigt sind. Die Materialstrukturen 52, ungeachtet ob erste oder zweite Art, spiegeln im Ergebnis den Verlauf und in Verlaufsrichtung die Querschnitte der späteren Temperierkanäle 34 im Substrat 12 wider und tragen entsprechend in Figur 4 die Bezugszeichen 52.1, 52.2 und 52.3.

In den Figuren 2 und 3 ist ein bereits in das Substrat 12 eingearbeiteter Abschnitt 52a ei-
15 ner Materialstruktur 52 der ersten Art 52-I zu erkennen, die dem Verlauf des späteren Temperierkanals 34.1 folgt.

Figur 3B illustriert anhand des Querschnitts des Abschnitts 52a, dass bei der späteren Materialstruktur 52 der ersten Art 52-I im Querschnitt modifiziertes Substratmaterial 44 ohne Hohlstrukturen vorliegen soll und vorliegt, d.h. dass bei diesen Materialstrukturen 52 der
20 ersten Art 52-I das modifizierte Substratmaterial 44 querschnittfüllend erzeugt wird. Dies schließt nicht aus, dass das modifizierte Substratmaterial 44 beispielweise porös oder dergleichen sein kann.

Im Ergebnis wird mit Hilfe des Modifikations-Bearbeitungssystems 58 somit das in Figur 4 gezeigte Substrat 12 erhalten, in welches die Materialstrukturen 52 aus modifiziertem Sub-
25 stratmaterial 44 eingearbeitet sind. Figur 5 veranschaulicht dazu nochmals anhand der Ausschnitte V A und V B gemäß Figur 4 mit der Materialstruktur 52.1 den durchgängigen Verlauf der Materialstrukturen 52 der ersten Art 52-I durch das Substrat 12 hindurch.

Figur 6 zeigt alternativ, wie Materialstrukturen 52 der zweiten Art 52-II in das Substrat 12

eingearbeitet werden, und zwar am Beispiel der Materialstruktur 52.1, die dem Verlauf des späteren Temperierkanals 34.1 folgt. Dabei zeigt Figur 6 wieder einen bereits in das Substrat 12 eingearbeiteten Abschnitt 52a der Materialstruktur 52. Wie in Figur 6B anhand des Querschnitts dieses Abschnitts 52a zu erkennen ist, wird bei Materialstrukturen 52 der
5 zweiten Art 52-II modifiziertes Substratmaterial 44 derart erzeugt, dass ein Kernbereich aus Substratmaterial 12a verbleibt, der zumindest bereichsweise von modifiziertem Substratmaterial 44 begrenzt ist.

Die Materialstruktur 52 der zweiten Art 52-II ist beim hier gezeigten Ausführungsbeispiel im Querschnitt ringförmig. Figur 7 zeigt deren Fertigstellung anhand der Materialstruktur
10 52.1 und der gleichen Ausschnitte, die in Figur 5 zu erkennen sind.

Im Weiteren wird weitgehend nur auf die Materialstrukturen 52 allgemein und lediglich in Einzelfällen auf deren erste Art 52-I oder zweite Art 52-II Bezug genommen, wenn es Unterschiede gibt.

In einem zweiten Prozessschritt P1-S2 der ersten Prozessroute P1 werden nun in die Materialstrukturen 52 aus modifiziertem Substratmaterial 44 die oben erwähnten Intermediat-
15 Hohlstrukturen 46 derart eingearbeitet, dass insgesamt die Intermediat-Strukturen 40 entstehen.

Zu diesem Zweck umfasst die Bearbeitungsvorrichtung 50 ein in Figur 8 gezeigtes Abtragungs-Bearbeitungssystem 68, welches weitgehend dieselben Komponenten umfasst wie
20 das Modifikations-Bearbeitungssystem 48, die entsprechend auch dieselben Bezugszeichen tragen. Es gilt grundsätzlich das oben zu diesen Komponenten Gesagte sinngemäß entsprechend.

Im Unterschied zum Modifikations-Bearbeitungssystem 48 erzeugt die Lichtquelle 54 des Abtragungs-Bearbeitungssystem 68 einen Abtragungs-Lichtstrahl 70, wobei es sich bei der
25 Lichtquelle ebenfalls vorzugsweise um einen leistungsstarken Laser handelt, der ultrakurze Pulse erzeugt.

Bei dem Abtragungs-Lichtstrahl 70 ist die Intensität an den mit der Fokussierlinse 62 er-

zeugten Fokuspunkten so hoch, dass dort Abtragungsorte 72 definiert sind und das vorhandene Material abgetragen wird. Die Orte der Fokuspunkte und somit die Abtragungsorte 72 bestimmen, wo und mit welcher Geometrie und welchen Querschnitten eine Intermediat-Hohlstruktur 46 in dem modifizierten Substratmaterial 44 entsteht.

- 5 In den Figuren 8 und 9 ist ein bereits in die Materialstruktur 52.1 eingearbeiteter Abschnitt 46a einer Intermediat-Hohlstruktur 46 bzw. ein bereits in das Substrat 12 eingearbeiteter Abschnitt 40a einer Intermediat-Struktur 40 zu erkennen, die jeweils dem Verlauf der Materialstruktur 52.1 und damit dem Verlauf des späteren Temperierkanals 34.1 folgen. Entsprechend ist auch ein Abschnitt 42a der entstehenden Intermediat-Schicht 42 ausgebil-
- 10 det.

- Die Querschnitte der Intermediat-Hohlstrukturen 46 sind entlang des Verlaufs der Materialstrukturen 52 kleiner als deren jeweilige Querschnitte, so dass im Ergebnis die Intermediat-Strukturen 40 hergestellt werden, bei denen jede Intermediat-Hohlstruktur 46 von einer Intermediat-Schicht 42 aus modifiziertem Substratmaterial 44 begrenzt wird. Im vorlie-
- 15 genden Fall sind die Intermediat-Hohlstrukturen 46 Intermediat-Hohlkanäle, die von einem Mantel aus modifiziertem Substratmaterial 44 begrenzt sind. Figur 7B illustriert dies anhand des Querschnitts der Abschnitte 40a/42a/46a, der jedoch auch den Querschnitt einer fertiggestellten Intermediat-Struktur 40 widerspiegelt.

- Wenn Materialstrukturen 52 der ersten Art 52-I vorliegen, wird an den Abtragungsorten 72
- 20 modifiziertes Substratmaterial 44 abgetragen. Wenn Materialstrukturen 52 der zweiten Art 52-II vorliegen, wird an den Abtragungsorten 72 Substratmaterial 12a des Substrats 12 abgetragen. In diesem Fall besteht der in Figur 9A rechts von dem Bearbeitungslichtstrahl 70 mit gestrichelten Linien eingerahmte Kernbereich noch aus Substratmaterial 12a.

- Das Abtragungs-Bearbeitungssystem 68 umfasst zudem eine insgesamt mit 74 bezeich-
- 25 nete Spülvorrichtung, die ebenfalls von der Steuereinrichtung 64 angesteuert wird. Die Spülvorrichtung 74 beaufschlagt die Abtragungsorte 72 mit einem Spülfluid 76, während das modifizierte Substratmaterial 44 abgetragen wird, wodurch abgetragenes Material von dem Spülfluid 76 weggespült wird. Hierfür ist eine Spüleleitung 78 vorgesehen, die in den Abschnitt 40a/46a eingeführt ist und mittels einer nicht eigens gezeigten Pumpe mit dem

Spülfluid 76 gespeist wird. Das Abgabeende der Spülleitung 78 kann den Abtragungsorten 72 durch einen ebenfalls nicht eigens gezeigten Leitungsförderer nachgeführt werden, der die Spülleitung 78 entsprechend der Ausbildung des Abschnitts 40a/46a weiter nachschiebt. Das abgetragene Material wird von dem Spülfluid 76 mitgerissen und strömt über
5 den bereits ausgebildeten Abschnitt 40a/46a ab, was in Figur 9A durch entsprechende Pfeile angedeutet ist.

Im Ergebnis wird auf diese Weise aus den Materialstrukturen 52 – sowohl der ersten Art 52-I als auch der zweiten Art 52-II – mit Hilfe des Abtragungs-Bearbeitungssystems 68 das in den Figuren 10 und 11 gezeigte Substrat 12 als Intermediat-Substrat erhalten, in welches die Intermediat-Strukturen 40 eingearbeitet sind. Figur 11 veranschaulicht dazu
10 nochmals anhand der Ausschnitte XI A und XI B gemäß Figur 10 den durchgängigen Verlauf der Intermediat-Strukturen 40 durch das Substrat 12 hindurch, die entsprechend den späteren Temperierkanälen 34 ergänzend mit 40.1, 40.2 und 40.3 bezeichnet sind.

Zusammengefasst werden allgemein ausgedrückt bei dieser ersten Prozessroute P1 in einem ersten Prozessschritt P1-S1 Materialstrukturen 52 in dem Substratmaterial 12a des Substrats 12 erzeugt, welche modifiziertes Substratmaterial 44 umfassen, und in einem
15 zweiten Prozessschritt P1-S2 Material derart abgetragen wird, dass Intermediat-Hohlstrukturen 46 erzeugt wird und für die Intermediat-Schicht 42 modifiziertes Substratmaterial 44 stehengelassen wird, so dass die Intermediat-Strukturen 40 entstehen. In dem zweiten
20 Prozessschritt P1-S2 wird bei Materialstrukturen 52 der ersten Art 52-I modifiziertes Substratmaterial 44 oder bei Materialstrukturen 52 der zweiten Art 52-II das Substratmaterial 12a des Kernbereichs derart abgetragen, dass die Intermediat-Hohlstruktur 46 erzeugt wird und die Intermediat-Schicht 42 durch verbleibendes modifiziertes Substratmaterial 44 der Materialstruktur 52 gebildet wird.

2.2 Zweite Prozessroute P2 zu Intermediat-Strukturen 40

Bei einer alternativen zweiten Prozessroute P2 werden dagegen in einem ersten Prozessschritt P2-S1 die Intermediat-Hohlstrukturen 46 erzeugt, indem das Substratmaterial 12a des Substrats 12 entsprechend abgetragen wird, und in einem zweiten Prozessschritt P2-S2 die Intermediat-Schicht 42 aus modifiziertem Substratmaterial 44 erzeugt, so dass die
25

Intermediat-Strukturen 40 entstehen.

Figur 12 veranschaulicht, dass für den ersten Prozessschritt P2-S1 der zweiten Prozessroute P2 das Abtragungs-Bearbeitungssystem 68 verwendet wird; identische Komponenten tragen wieder dieselben Bezugszeichen.

- 5 Bei dem Abtragungs-Lichtstrahl 70 ist die Intensität an den mit der Fokussierlinse 62 erzeugten Fokuspunkten so hoch, dass das Substratmaterial 12a des Substrats 12 an den Abtragungsorten 72 abgetragen wird. Die Orte der Fokuspunkte und somit die Abtragungsorte 72 bestimmen auch hier, wo und mit welcher Geometrie und welchen Querschnitten eine Intermediat-Hohlstruktur 46, allerdings nun in dem Substratmaterial 12a
10 des Substrats 12, entsteht.

- In den Figuren 13A und 13B sind mit gestrichelten Linien 80 der Verlauf, die Geometrie und die Querschnitte der Temperierhohlstrukturen 22 und konkret des Temperierkanals 34.1 dargestellt, die im fertigen Spiegel 10 vorliegen sollen. Wie dort zu erkennen ist, sind die Querschnitte der Intermediat-Hohlstrukturen 46 entlang des geplanten Verlaufs 80 der
15 Temperierkanäle 34 kleiner als deren jeweilige Querschnitte.

In den Figuren 12 und 13 ist ein bereits in das Substratmaterial 12a eingearbeiteter Abschnitt einer Intermediat-Hohlstruktur 46 zu erkennen, wobei der Abschnitt wieder das Bezugszeichen 46a trägt und dem Verlauf 80 des späteren Temperierkanals 34.1 folgt.

- Die Figuren 14 und 15 veranschaulichen das Ergebnis des ersten Schritts P2-S1 der zweiten Prozessroute P2, bei dem die Intermediat-Hohlstrukturen 46 in das Substrat 12 eingearbeitet sind. Die Intermediat-Hohlstrukturen 46 spiegeln den Verlauf und in Verlaufsrichtung die Querschnitte der späteren Temperierkanäle 34 im Substrat 12 wider und tragen entsprechend in Figur 14 die Bezugszeichen 46.1, 46.2 und 46.3.
20

- In dem zweiten Prozessschritt P2-S2 der zweiten Prozessroute P2 werden nun die Intermediat-Strukturen 40 erzeugt, indem in dem Substratmaterial 12a, welches die Intermediat-Hohlstrukturen 46 umgibt, die Intermediat-Schichten 42 erzeugt werden, so dass insgesamt die Intermediat-Strukturen 40 entstehen.
25

Wie Figur 16 zeigt, wird zu diesem Zweck ein abgewandeltes Modifikations-Bearbeitungssystem 82 verwendet, welches weitgehend dem Modifikations-Bearbeitungssystem 48 gemäß Figur 2 entspricht und bei dem identische Komponenten dieselben Bezugszeichen tragen.

- 5 In den Figuren 16 und 17 ist ein bereits in das Materialsubstrat 12a eingearbeiteter Abschnitt 42a einer Intermediat-Schicht 42 aus dem modifiziertem Substratmaterial 44 gezeigt, wodurch entsprechend ein Abschnitt 40a der zugehörigen Intermediat-Struktur 40 ausgebildet ist, die den späteren Temperierkanal 34.1 vorgibt und dementsprechend mit 40.1 bezeichnet ist.
- 10 Die Mantelflächen der Intermediat-Hohlstrukturen 46, die mit dem Abtragungs-Bearbeitungssystem 68 hergestellt wurden, weisen eine Oberflächenrauheit mit Rauheiten auf, die größer als $1\mu\text{m}$ sein können. Daher wird der Modifikations-Lichtstrahl 56 an diesen Mantelflächen gestreut, was sich negativ auf das Ergebnis bei der Ausbildung der Intermediat-Schichten 42 auswirkt. Insbesondere können im ungünstigsten Fall Bereiche im Substrat-
- 15 material 12a, die sich auf der von der Fokusalinse 62 abliegenden Seite der vorhandenen Intermediat-Hohlstrukturen 46 befinden, nicht mehr von dem Modifikations-Lichtstrahl 56 erreicht werden.

- Dieser Streueffekt kann durch eine Hilfsflüssigkeit 84 verhindert oder ausreichend verringert werden. Die Hilfsflüssigkeit 84 ist dabei vorzugsweise für den Modifikations-Licht-
- 20 strahl 56 transparent und hat weiter bevorzugt denselben oder zumindest einen ähnlichen Brechungsindex n wie das Substratmaterial 12a des Substrats 12. Vorzugsweise passt dabei der Brechungsindex n_F der Hilfsflüssigkeit 84 bei der Wellenlänge des Modifikations-Lichtstrahls 56 zum Brechungsindex n_M des Substratmaterials 12a bei derselben Wellenlänge mit einer Toleranz von weniger als 20%, bevorzugt mit einer Toleranz von weniger
- 25 als 10%, bevorzugter mit einer Toleranz von weniger als 5% und besonders bevorzugt mit einer Toleranz von weniger als 1% bezogen auf den Brechungsindex n_M des Substratmaterials 12a. Beispielsweise sind Glycerin und Wasser als Hilfsflüssigkeit 84 geeignet.

Für diesen Zweck umfasst das Modifikations-Bearbeitungssystem 82 zusätzlich eine Fluidvorrichtung 86, mit welcher die bereits ausgebildeten Intermediat-Hohlstrukturen 46 mit

der Hilfsflüssigkeit 84 gefüllt werden können. Die Fluidvorrichtung 86 ist dabei vorzugsweise so eingerichtet, dass die Hilfsflüssigkeit 84 als stehendes Flüssigkeitsvolumen in den Hohlstrukturen gehalten werden kann, um unerwünschte Effekte durch Verwirbelungen der Hilfsflüssigkeit 84 zu vermeiden. Die bei der Fluidvorrichtung 86 gezeigte Pumpe dient
5 dann nur zum Befüllen bzw. Entleeren der Hohlstrukturen, nicht jedoch zum Umwälzen der Hilfsflüssigkeit 84.

Abhängig von dem Brechungsindex n_F der Hilfsflüssigkeit 84 kommt es gegebenenfalls zu einer Verschiebung der Fokuspunkte und damit zu einer Verschiebung der Modifikationsorte 66 gegenüber den Fokuspunkten bzw. der Modifikationsorte, die ohne die Hilfsflüssigkeit 84 von dem Modifikations-Lichtstrahl 56 erreicht werden. Dies ist insbesondere für
10 diejenigen Modifikationsorte 66 relevant, die auf der von der Fokuslinse 62 abliegenden Seite einer bereits vorhandenen Intermediat-Hohlstruktur 40 erreicht werden sollen, wozu die Intermediat-Hohlstruktur 40 durchstrahlt werden muss.

Dieser Verschiebungseffekt auf die Fokuspunkte des Modifikations-Lichtstrahls 56 wird
15 von der Steuereinrichtung 64 einberechnet, so dass das modifizierte Substratmaterial 44 in den gewünschten Bereichen erzeugt wird.

Im Ergebnis wird auf diese Weise mit Hilfe des Modifikations-Bearbeitungssystems 82 das in den Figuren 8 und 9 gezeigte Intermediat-Substrat 12 erhalten, in welches die Intermediat-Strukturen 40 eingearbeitet sind.

20 Zusammengefasst werden bei dieser zweiten Prozessroute P2 in dem ersten Prozessschritt P2-S1 Intermediat-Hohlstrukturen 46 in das Substratmaterial 12a des Substrats 12 eingearbeitet und in dem zweiten Prozessschritt P2-S2 die Intermediat-Schichten 42 aus modifiziertem Substratmaterial 44 in dem Substratmaterial 12a des Substrats 12 derart eingearbeitet, dass die Intermediat-Strukturen 40 entstehen.

2.3 Anwendung der Prozessrouten P1 und P2

25 Die beiden oben beschriebenen Prozessrouten P1 und P2 können auch beide bei ein und demselben Substrat 12 angewendet werden. Abhängig von der jeweiligen Geometrie und dem jeweiligen Verlauf von verschiedenen Temperierhohlstrukturen 22 kann die eine oder

die andere Prozessroute P1 oder P2 für unterschiedliche Temperierhohlstrukturen 22 günstiger in der Anwendung sein. Auch können die verschiedenen Alternativen der Prozessrouten P1 oder P2 unabhängig voneinander bei ein und demselben Substrat 12 angewendet werden.

2.4 Fertigstellen der Temperierkanäle

- 5 Wie oben erwähnt, werden nun die Intermediat-Schichten 42 aus modifiziertem Substratmaterial 44 durch ein chemisch aktives Behandlungsmedium entfernt.

Dies veranschaulicht Figur 18, in welcher das Intermediat-Substrat 12 gemäß den Figuren 10 und 11 zu erkennen ist. Bei dem Ätzschritt wird mit Hilfe einer Behandlungsvorrichtung 88 ein chemisch aktives Behandlungsmedium 90 in die Intermediat-Hohlstrukturen 46 der
10 Intermediat-Strukturen 40 eingebracht, durch welches deren Intermediat-Schicht 42 aus dem modifizierten Substratmaterial 44 entfernt wird.

Dabei wird die Intermediat-Hohlstruktur 46 vorzugsweise zeitlich durchgehend von dem Behandlungsmedium 90 durchströmt. Bei einer Abwandlung kann das Behandlungsmedium 90 die Intermediat-Hohlstruktur 46 auch nur zeitweise durchströmen und über definierte Zeitspannen stehend in der Intermediat-Hohlstruktur 40 eingebracht sein. Die jeweilige Intermediat-Schicht 42 und Intermediat-Hohlstruktur 46 ist lediglich bei der Intermediat-Struktur 40.1 bezeichnet.
15

Beim vorliegenden Ausführungsbeispiel ist das chemisch aktive Behandlungsmedium 90 ein Ätzmedium 90' und die Intermediat-Schicht 42 aus dem modifizierten Substratmaterial
20 44 wird durch einen Ätzprozess entfernt. Die Behandlungsvorrichtung 88 ist in diesem Fall eine Ätzvorrichtung. Alternativ kann das Behandlungsmedium 90 auch ein Oxidationsmittel oder ein Reduktionsmittel sein, was auch umfasst, dass das Behandlungsmedium 90 ein Oxidationsmittel oder Reduktionsmittel enthält.

Als Ätzmittel kommen Basen und Säuren in Betracht. Bei Basen sind dies insbesondere
25 starke Basen, wie beispielsweise Kaliumhydroxid KOH. Auch starke Säuren können verwendet werden, wobei bei Säuren insbesondere Flusssäure HF verwendet wird, die eine zwar schwache, aber hochreaktive Säure definiert. Die Konzentration der Basen oder Säuren in

dem Ätzmedium 90' ist dabei auf die benötigte Ätzwirkung abgestimmt.

Alternativ können ein Ammoniumfluoridpuffer $\text{NH}_4\text{F}/\text{H}_2\text{O}/\text{HF}$ oder zum Trockenätzen CF_4 eingesetzt werden.

Die Behandlungsvorrichtung 88 umfasst ein mit dem Behandlungsmedium 90, hier dem
5 Ätzmedium 90', gefülltes Reservoir 92 mit einer Pumpe 94, das mit einem offenen Ende
der zu durchströmenden Intermediat-Struktur 40 verbunden werden kann; in Figur 18 ist
dies bei der Intermediat-Struktur 40.1 gezeigt.

Das andere offene Ende der zu durchströmenden Intermediat-Struktur 40 ist mit einem
Sammelbehälter 96 der Behandlungsvorrichtung 88 verbunden. Gegebenenfalls kann das
10 Ätzmedium 90' auch durch ein mit einer gestrichelten Linie schematisch angedeutetes
Umwälzsystem 98 in mehreren Zyklen durch die Intermediat-Struktur 40 geführt werden.
Dies gilt auch allgemein für ein Behandlungsmedium 90.

Die Figuren 19 und 20 illustrieren anhand der Ausschnitte XIX A und XIX B in Figur 18, wie
die Intermediat-Schicht 42 bei der Intermediat-Struktur 40.1 in Figur 19 gegenüber der
15 Ausgangssituation gemäß Figur 11 dünner geworden ist und durch das Behandlungsme-
dium 90 bzw. das Ätzmedium 90' weiter entfernt bzw. weggeätzt wird, bis der in Figur 20
gezeigte Temperierkanal 34.1 fertiggestellt ist.

Solche Behandlungen bzw. Ätzbehandlungen der Intermediat-Schichten 42 werden bei al-
len vorhandenen Intermediat-Strukturen 40 durchgeführt, bis im Ergebnis das Substrat 12
20 des Spiegels 10 mit den Temperierhohlstrukturen 22 gemäß Figur 1 erhalten ist, bei dem
aber die Beschichtung 16 noch nicht auf die Trägerfläche 14 aufgebracht ist.

Dadurch, dass bereits bestehende und an beiden Enden von außen zugängliche Interme-
diat-Hohlstrukturen 46 von dem Ätzmedium 90' durchströmt werden, ist ein gleichmäßi-
ger Angriff bzw. Ätzangriff auf das modifizierte Substratmaterial 44 in den Intermediat-
25 Schichten 42 gewährleistet, ohne dass es zu Stauwirkungen in Totvolumina kommt. Das Be-
handlungsmedium 90 bzw. das Ätzmedium 90' zeigt dabei das Verhalten einer laminaren
Strömung; es entstehen keine Totzonen.

Im Weiteren wird als Behandlungsschritt der Einfachheit halber auf den Ätzschritt mit dem Ätzmedium 90' Bezug genommen. Das dazu Gesagte gilt sinngemäß entsprechend für einen Behandlungsschritt mit einem alternativen chemisch aktiven Behandlungsmedium 90.

2.5 Korrekturen von Unregelmäßigkeiten

Figur 21 zeigt exemplarisch die Möglichkeit, durch die beiden Prozessrouten P1 und P2 in
5 Verbindung mit dem nachgelagerten Ätzschritt Unregelmäßigkeiten auszugleichen, die bei den Intermediat-Hohlstrukturen 46 auftreten können, wenn diese in die Materialstrukturen 52 aus modifiziertem Substratmaterial 44 oder direkt in das Substratmaterial 12a eingearbeitet werden.

Die Figuren 21A und 21B zeigen dabei den Ausschnitt IX A aus Figur 8 bzw. den Ausschnitt
10 XIII A aus Figur 12 und veranschaulichen jeweils, wie einerseits modifiziertes Substratmaterial 44 der Materialstruktur 52.1 der ersten Art 52-I bei der ersten Prozessroute P1 und andererseits das Substratmaterial 12a bei der zweiten Prozessroute P2 mit dem Abtragungs-Lichtstrahl 70 abgetragen wird, wobei es allerdings jeweils zu Unregelmäßigkeiten in Form von Versatzstellen 100 in der Intermediat-Hohlstruktur 46.1 gekommen ist. Solche Un-
15 regelmäßigkeiten können beispielsweise bei Unterbrechungen im Abtragungsprozess oder auch bei Schwankungen im Materialgefüge der Materialstrukturen 52 bzw. des Substrats 12 entstehen.

Im Ergebnis weist dann das Intermediat-Substrat 12 gemäß Figur 10 solche Versatzstellen
20 100 bei den ausgebildeten Intermediat-Strukturen 40 auf, was Figur 21C anhand der Intermediat-Struktur 40.1 darstellt.

Solange solche Versatzstellen 100 in radialer Richtung noch innerhalb der äußeren Begrenzung des zu erzeugenden Temperierkanals 34 liegen, können die Versatzstellen 100 durch den Ätzschritt ausgeglichen werden.

Wie Figur 21A zeigt, ist dies bei der ersten Prozessroute P1 der Fall, wenn die Material-
25 struktur 52.1 im dortigen ersten Prozessschritt P1-S1 mit einem ausreichend großen Querschnitt eingearbeitet worden ist, dass auch eine Versatzstelle 100 radial außen noch immer von modifiziertem Substratmaterial 44 umgeben bleibt.

Figur 21B zeigt, dass dies bei der zweiten Prozessroute P2 der Fall ist, wenn die Intermediat-Hohlstruktur 46.1 mit den Versatzstellen 100 bei dem dortigen ersten Prozessschritt P2-S1 noch innerhalb der geplanten Geometrie 80 des Temperierkanals 34.1 erzeugt werden. In dem zweiten Prozessschritt P2-S2 der zweiten Prozessroute P2 wird die Intermediat-Schicht 42 dann mit in sich gleichmäßigem Querschnitt erzeugt, so dass auch eine
5 Versatzstelle 100 radial außen von modifiziertem Substratmaterial 44 umgeben ist.

Bei beiden Prozessrouten P1 und P2 entsteht eine Intermediat-Struktur 40, deren Intermediat-Hohlstruktur 46 entsprechende Versatzstellen 100 aufweist; dies zeigt nochmals Figur 19D.

10 Wenn nun der Ätzschritt durchgeführt wird, reicht die Ätzselektivität des Ätzmediums 90' aus, um wanddickere und wanddünnere Bereiche der Intermediat-Schicht 42 wegzuätzen, ohne dass das umgebende Substratmaterial 12a übermäßig in Mitleidenschaft gezogen wird. Wenn die wanddünnere Bereiche der Intermediat-Schicht 42 weggeätzt sind, kann zwar das Ätzmedium 90' dort bereits das Substratmaterial 12a überströmen und angreifen,
15 bevor die wanddickeren Bereiche entfernt sind. Der nötige Zeitraum, in dem die noch vorhandene Intermediat-Schicht 42 von dem Ätzmedium 90' entfernt wird, reicht aber nicht aus, um das bereits überströmte Substratmaterial 12 in einer Weise zu schädigen, die nicht toleriert werden kann.

Im Ergebnis wird durch den Ätzschritt also auch bei vorhandenen Versatzstellen 100 in der
20 Mantelfläche der Intermediat-Hohlstrukturen 46 zugehörige Temperierhohlstrukturen 22 mit zufriedenstellender Funktionalität erzeugt, was Figur 21D verdeutlicht.

3. Erhaltenes Substrat

Figur 22 zeigt nun nochmals das Substrat 12 im Stadium des Trägersubstrats 12'' mit Temperierhohlstrukturen 22, die durch das oben erläuterte Verfahren erhalten wurden und wieder beispielhaft durch drei Temperierkanäle 34.1, 34.2 und 34.3 repräsentiert sind. Die
25 Temperierhohlstrukturen 22 definieren jeweils eine Innenmantelfläche 102, wobei der Übersichtlichkeit halber hiervon nur eine Innenmantelfläche 102 mit einem Bezugszeichen versehen ist.

Nachfolgend werden Eigenschaften der Temperierhohlstrukturen 22 bzw. der Temperierkanäle 34 und des Substrats 12 als solches erläutert, die bei der Anwendung der oben beschriebenen Verfahren möglich sind oder sich daraus ergeben, wobei gegebenenfalls auch bereits beschriebene Eigenschaften nochmals aufgegriffen und/oder ergänzt werden.

3.1 Temperierhohlstrukturen/Temperierkanäle

- 5 Durch Anwendung der ersten oder der zweiten Prozessroute P1 bzw. P2 zur Ausbildung der Temperierhohlstrukturen 22 werden Substrate 12 mit Temperierhohlstrukturen 22 erhalten, deren Innenmantelfläche 102 zumindest bereichsweise eine äußerst hohe Güte mit einem Mittenrauwert Ra zwischen 10,0 µm und 5,0 µm hat, der dabei insbesondere zwischen 10,0 µm und 6,5 µm, zwischen 10,0 µm und 8,0 µm, zwischen 8,5 µm und 5,0 µm, zwischen 7,0 µm und 5,0 µm oder zwischen 8,5 µm und 6,5 µm liegen kann, oder deren Innenmantelfläche 102 zumindest bereichsweise eine äußerst hohe Güte mit einem Mittenrauwert Ra von 5,0 µm und weniger hat, der dabei insbesondere zwischen 5,0 µm und 0,1 µm, zwischen 4,5 µm und 0,125 µm, zwischen 4,0 µm und 0,15 µm, zwischen 3,5 µm und 0,175 µm oder zwischen 3,0 µm und 0,2 µm liegen kann. In der Praxis konnten insbesondere besonders gute Mittenrauwerte Ra zwischen 0,1 µm und 0,5 µm, zwischen 0,15 µm und 0,45 µm, zwischen 0,2 µm und 0,4 µm und zwischen 0,25 µm und 0,35 µm erreicht werden. Grundsätzlich sind aber auch die genannten Mittenrauwerte Ra zwischen 10,0 µm und 5,0 µm ein gutes Ergebnis.

- Figur 23A zeigt eine Topographie-Aufnahme eines Oberflächenbereichs 104 der Innenmantelfläche 102 einer solchen Temperierhohlstruktur 22 und Figur 23B einen Schnitt entlang der in Figur 23A mit 106 bezeichneten Schnittstrecke, welche einen dort erreichten Mittenrauwert Ra von etwa 0,28 µm veranschaulicht. Der Flächenbereich 104 hat eine Erstreckung von 254 µm x 190 µm.

- Die Mittenrauwerte Ra sind nach DIN EN ISO 25178 (Stand 04/2023) ermittelt und angegeben. Die Messung erfolgte mittels eines Weißlichtinterferometers mit 50-fach Vergrößerung, wie es an und für sich bekannt ist.

Figur 23A verdeutlicht, dass durch die Anwendung der ersten Prozessroute P1 oder der zweiten Prozessroute P1 zumindest in Oberflächenbereichen der Innenmantelfläche 102 der Temperierhohlstrukturen 22 eine Oberflächentopographie 108 erhalten wird, deren geometrische Gestalt sich aus einer Überlagerung von Senkstrukturen 110 ergibt, die sich
5 in das Substratmaterial 12a hinein erstrecken.

Dies ist ergänzend in Figur 24 anhand eines Längsschnitts einer Temperierhohlstruktur 22 schematisch, von den Verhältnissen her deutlich überzeichnet und ohne Bezug auf die Aufnahme nach Figur 23A illustriert, wobei nachfolgend nur auf den in Figur 24 unteren Übergang zwischen der Temperierhohlstruktur 22 und dem Substratmaterial 12a eingegan-
10 gen wird. Dort sind beispielhaft sieben Senkstrukturen 110.1, 110.2, 110.3, 110.4, 110.5, 110.6 und 110.7 mit durchgezogenen Linien zu erkennen, die sich in das Substratmaterial 12a hinein erstrecken.

Der oben zu den Figuren 13A und 13B erläuterte und in Figur 24 wieder mit einer gestrichelten Line gezeigte geplante Verlauf 80 der Temperierhohlstruktur 22 beschreibt hier
15 eine Bezugsmantelfläche, von der aus sich die Senkstrukturen 108 in das Substratmaterial 12a hinein erstrecken. Aus der Überlagerung dieser Senkstrukturen 110 ergibt sich dann die Oberflächentopographie 108, deren Verlauf im in Figur 24 gezeigten Schnitt mit einer dickeren durchgezogenen Linie zu erkennen ist.

Die Oberflächentopographie 108 definiert im Ergebnis aneinandergrenzende Senkbereiche
20 112, zwischen denen Randbezirke 114 verlaufen. In Figur 23 sind nur einige solcher Senkbereiche und Randbezirke mit Bezugszeichen versehen.

Anschaulich bilden diese Randbezirke 114 eine Art Bergkamm zwischen zwei benachbarten Tälern in Form von zwei aneinandergrenzenden Senkbereichen 112. Diese Randbezirke 114 können insbesondere linienhaft sein.

25 Die Senkstrukturen 110 können insbesondere Segmente von in sich punktsymmetrischen oder zumindest achssymmetrischen Körpern sein, wie beispielsweise Kugelsegmente, Ellipsoidsegmente oder Paraboloiden. Die resultierenden Senkbereiche 112 können ihrerseits achssymmetrisch sein und beispielsweise einem Abschnitt der Außenmantelflächen von

Kugelsegmenten, Ellipsoidsegmenten oder Paraboloiden folgen. In diesem Fall sind auch deren Randbezirke 114 achssymmetrisch. Es können jedoch auch nicht achssymmetrische Senkbereiche 112 mit nicht achssymmetrischen Randbezirke 114 entstehen und vorliegen, was in Figuren 23A anhand der dort jeweils zwei mit 112 bezeichneten Senkbereiche und deren mit 114 bezeichneten Randbezirken zu erkennen ist. Die finale Geometrie und Dimension eines von einem umlaufenden Randbezirk 114 umgebenen Senkbereichs 112 hängt von den Geometrien und Dimensionen der Senkstrukturen 110 ab, die als Basis für die Ausbildung des Senkbereichs 112 verstanden werden. Der Vollständigkeit halber sei angemerkt, dass die Senkstrukturen 110 sich über die Fläche der Mantelfläche 102 verteilen, Figur 25 aber natürlich nur den gezeigten Schnitt und keine Senkstrukturen 110 und resultierende Senkbereiche 112 vor und hinter der Papierebene zeigen kann.

Ein Temperierkanal 34 kann Durchmesser zwischen 0,5 mm und 20 mm haben, wobei bevorzugt Durchmesser zwischen 1 mm und 5 mm ausgebildet sind.

Die Länge eines Temperierkanals 34 hängt vor allem von der Dimension des Substrats 12 ab und beträgt in der Praxis mindestens 10 cm, kann aber auch mindestens 15 cm oder mindestens 20 cm betragen.

Ein Temperierkanal 34 kann gekrümmt sein oder zumindest gekrümmte Abschnitte aufweisen. Wie in Figur 22 zu erkennen ist, folgen die Temperierkanäle 34 in einem dort mittleren Abschnitt 116 der Krümmung der Trägerfläche 14, wobei dieser mittlere Abschnitt 116, der somit bereits ein gekrümmter Abschnitt ist, sich zwischen zwei demgegenüber stark gekrümmten Abschnitten 118 erstreckt. In Figur 22 haben lediglich bei dem Temperierkanal 34.1 der mittlere Abschnitt 116 und die stark gekrümmten Abschnitte 118 ein Bezugszeichen. Der dort bezeichnete mittlere Abschnitt 116 mündet in Figur 22 links in den dortigen stark gekrümmten Abschnitt 118, der seinerseits in einen geradlinigen Abschnitt 120 übergeht, der dann an der Öffnung 36 des Temperierkanals 34.1 endet. Figur 25 zeigt den Ausschnitt XXV der Figur 22 in vergrößertem Maßstab.

Unter einer starken Krümmung sind Krümmungswinkel zwischen 60° und 120°, insbesondere zwischen 80° und 100°, bevorzugt von etwa 90° zu verstehen. Bevorzugt erstreckt

sich ein Abschnitt 116 des Temperierkanals 34 zwischen zwei stark gekrümmten Abschnitten 118 mit einem Krümmungswinkel von etwa 90° , wie es beim vorliegenden Ausführungsbeispiel gezeigt ist.

Die Krümmung eines stark gekrümmten Abschnitts 118 folgt dabei in der Regel einem Bo-
5 gen. Bei einer 90° -Krümmung beispielsweise gibt es also nicht zwei streng senkrecht aufeinander stehenden Kanalabschnitte.

Ein ebenfalls in Figur 25 veranschaulichter äußerer Krümmungsradius R und der Durchmesser D eines stark gekrümmten Abschnitts, hier der stark gekrümmte Abschnitt 118, definieren ein Verhältnis R/D . Bevorzugt liegt ein solches Verhältnis R/D zwischen 2 und 6,
10 weiter bevorzugt zwischen 2,5 und 5 und insbesondere bevorzugt zwischen 2,5 und 3,5. Diese Verhältnisse R/D spiegeln weder Figur 25 noch die übrigen Figuren wider; zur besseren Erkennbarkeit ist der Temperierkanal 34.1 schematisch mit einem im Verhältnis größeren Durchmesser gezeigt.

Bezogen auf die Trägerfläche 14 des Substrats 12 verläuft ein Temperierkanal 34 insbesondere in einem Abstand von 1,0 mm bis 50,0 mm, von 1,0 mm bis 20,0 mm, von 1,0 mm bis
15 10,0 mm oder von 1,0 mm bis 5,0 mm. Der Abstand wird dabei vorzugsweise bezogen auf eine Normale zur Trägerfläche 14 ermittelt. Dabei kann der Abstand des Temperierkanals 34 zur Trägerfläche 14 entlang seinem Verlauf verschieden sein.

3.2 Substrat

Mit Hilfe der oben erläuterten Verfahren wird ein mit Temperierhohlstrukturen 22 versehenes Substrat 12 mit einer Trägerfläche 14 erhalten, deren Passe eine signifikante Zeitstabi-
20 lität hat. Die Passe der Trägerfläche 14 ändert sich bei einer Lebensdauer des Substrats 12 von bis zu 10 Jahren, zumindest bis zu fünf Jahren und mindestens bis zu zwei Jahren um weniger als 100 pm, insbesondere um weniger als 50 pm und weiter insbesondere um weniger als 25 pm.

25 Diese Passestabilität bleibt auch bei einem Spiegel 10 erhalten, welche ein mit Hilfe der oben erläuterten Verfahren hergestelltes Substrat 12 umfasst, das mit der Beschichtung 16 versehen ist. Folglich wird ein Spiegel 10 erhalten, dessen Passe sich bei einer Lebensdauer

des Spiegels 10 von bis zu 10 Jahren, zumindest bis zu fünf Jahren und mindestens bis zu zwei Jahren um weniger als 100 pm, insbesondere um weniger als 50 pm und weiter insbesondere um weniger als 25 pm ändert.

Die hohe Stabilität der Passe der Trägerfläche 14 des Substrats 12 und der Passe des daraus gefertigten Spiegels 10 wird dadurch erreicht, dass das modifizierte Substratmaterial 44 präzise und zielgerichtet entfernt wird, so dass ein in sich besonders gefügehomo-
5 genes Substrat erhalten bzw. wiederhergestellt wird, nachdem das Gefüge bei noch vorhandenem modifiziertem Substratmaterial 44 diese Gefügehomo- genität nicht mehr aufweist.

Dies spiegeln in den Figuren 26 A, B und C gezeigte Wiedergaben der Ergebnisse von
10 Messungen der Passe der Trägerfläche 14 eines in der Praxis bearbeiteten Substrats 122 für einen Spiegel vor und nach dem Ätzprozess wider, wobei jeweils oben eine Flächen- bilddarstellung der Trägerfläche 14 und darunter ein Abweichungsprofil entlang einer Messstrecke gezeigt sind.

Die Messungen wurden mit einem interferometrischen Messsystem durchgeführt, das auf
15 einem Fizeau-Interferometer basiert und eine Wiederholpräzision von 10pm RMS und eine Pixelgröße von typischerweise 0,12 mm x 0,12 mm bereitstellt.

Figur 26A zeigt die Passe der Trägerfläche 14 bei dem Substrat 122 vor dem Ätzprozess, mit dem das modifizierte Substratmaterial 44 entfernt wird, und spiegelt somit die Kon-
figuration des Substrats 12 mit den Intermediat-Strukturen 40 nach Figur 10 wider, bei de-
20 nen das modifizierte Substratmaterial 44 noch vorhanden ist. Es zeigen sich Absenkungen 124 in der Trägerfläche 14, von denen drei Absenkungen in der Flächenbilddarstellung und dem Abweichungsprofil mit 124.1, 124.2 und 124.3 bezeichnet sind. Diese Absenkun-
gen 124 liegen dort vor, wo unterhalb der Trägerfläche 14 im Substratmaterial 12a die In-
termediat-Strukturen 40 eingearbeitet sind und das modifizierte Substratmaterial 44 vor-
25 handen ist. Wie in Figur 26A zu erkennen ist, folgen die Absenkungen 124 dem jeweiligen Verlauf der Intermediat-Strukturen 40, die in diesem Fall als geradlinige Kanäle zu erken-
nen sind. Die Messstrecke des jeweiligen Abweichungsprofils der Figuren 26A, B und C verläuft quer zu den Kanälen.

Zu Vergleichszwecken ist das Substrat 122 nicht unter der vollen Trägerfläche 14 mit Intermediat-Strukturen 40 versehen; der Bereich rechts neben den Absenkungen 124 ist unbearbeitet.

Die Absenkungen 124 entstehen aufgrund der dort unterhalb der Trägerfläche 14 durch das modifizierte Substratmaterial 44 entstandenen Gefüge-Inhomogenitäten im Substratmaterial 12a.

Figur 26B zeigt die Passe der Trägerfläche 14 bei dem Substrat von Figur 26A nach der Durchführung des Ätzprozesses, mit dem das modifizierte Substratmaterial 44 entfernt wird, was der Konfiguration des Substrats 12 nach Figur 22 entspricht. Wie Figur 26B zeigt und anhand des Abweichungsprofils deutlich wird, haben sich die Absenkungen 124 nach der Entfernung des modifizierten Substratmaterials 44 signifikant vermindert und die Trägerfläche 14 hat nun insgesamt eine geringere Passeabweichung.

Figur 26C zeigt eine Differenzdarstellung der Messungen nach den Figuren 26A und 26B und verdeutlicht in diesem Zusammenhang auch die weitgehend unveränderten Bereiche der Trägerfläche 14 ohne darunter liegenden Temperierhohlstrukturen 22.

Die gemäß Figur 26B gemessene Passe jedenfalls weist die oben erläuterte Zeitstabilität auf.

4. Anlage der Halbleitertechnologie/Projektionsbelichtungsanlage

Figur 27 veranschaulicht nochmals eine Anlage 6 der Halbleitertechnologie am Beispiel einer Projektionsbelichtungsanlage 200 für die EUV-Halbleiterlithographie. Andere Anlagen der Halbleitertechnologie wie z.B. eine Maskeninspektionsanlage oder eine Waferinspektionsanlage, enthalten teilweise gleiche oder ähnliche Komponenten, wie sie hier am Beispiel der EUV-Projektionsbelichtungsanlage 200 erläutert werden.

Die Projektionsbelichtungsanlage 200 umfasst ein Beleuchtungssystem 202 mit einer Strahlungsquelle 204 und einer Beleuchtungsoptik 206 zur Beleuchtung eines Objektfeldes 208 in einer Objektebene 210, in der ein reflektierendes Retikel 212 angeordnet ist. Die Strahlungsquelle 204 ist im dargestellten Ausführungsbeispiel eine EUV-Strahlungsquelle,

die als Arbeitsstrahlung 214 EUV-Strahlung emittiert, insbesondere in einem Wellenlängenbereich zwischen 5 nm und 30 nm. Bei der Strahlungsquelle 204 kann es sich um eine Plasmaquelle handeln, zum Beispiel um eine LPP-Quelle (Laser Produced Plasma) oder um eine GDPP-Quelle (Gas Discharged Produced Plasma). Alternativ kann eine synchrotronbasierte Strahlungsquelle oder ein Freie-Elektronen-Laser (Free Electron Laser, FEL) als Strahlungsquelle 204 eingesetzt werden.

Außerdem umfasst die Projektionsbelichtungsanlage 200 eine Projektionsoptik 216 zu Abbildung des Objektfeldes 208 in ein Bildfeld 218, das sich in einer Bildebene 220 der Projektionsoptik 216 befindet. In der Bildebene 220 ist als Beispiel für ein Objekt 222 ein Wafer angeordnet, der eine lichtempfindliche Schicht (engl. resist) trägt. Komponenten zur synchronen Bewegung des Retikels 212 und des Wafers 222 sind in Figur 27 nur angedeutet und nicht mit Bezugszeichen versehen.

Die Projektionsbelichtungsanlage 200 umfasst eine Mehrzahl von optischen Elementen 8 in Form von Spiegeln M_n , welche gemäß ihrer Anordnung im Strahlengang der Projektionsbelichtungsanlage 200 durchnummeriert sind. Vorliegend sind insgesamt 10 Spiegel M1 bis M10 im Strahlengang vorhanden.

Die Spiegel M3 und M4 sind als Facettenspiegel ausgebildet, die eine Vielzahl von Einzelspiegeln enthalten. Bei den übrigen Spiegeln M_n handelt es sich jeweils um einen Spiegel 10 mit einem monolithischen Spiegelsubstrat 12 und einer davon getragenen Beschichtung 16, wie er in der Figur 1 beispielhaft gezeigt ist. Diese Spiegel sind der Einfachheit halber in der Figur 27 als Quader angedeutet. Die der EUV-Strahlung 214 ausgesetzten und mit der Beschichtung 16 versehenen Oberflächen der Spiegel 10 sind jedoch in der Realität nicht eben, sondern gekrümmt, wie ebenfalls Figur 1 illustriert.

Die Spiegel M1 bis M4 im Beleuchtungssystem 206 dienen dazu, einen Abschnitt des Retikels 212 mit der gewünschten Beleuchtungswinkelverteilung zu beleuchten. Die Spiegel M5 bis M10 der Projektionsoptik 216 bilden diesen Abschnitt verkleinert auf den Wafer 222 ab. Dadurch werden die im Retikel 212 enthaltenen Strukturen auf die vom Wafer 222 getragene lichtempfindliche Schicht abgebildet.

Mit Hilfe der optischen Elemente 8, die beim vorliegenden Ausführungsbeispiel als Spiegel 10 für die EUV-Projektionsbelichtungsanlage 200 ausgebildet sind und deren Beschichtung zumindest dazu eingerichtet ist, senkrecht oder nahezu senkrecht auftreffendes EUV-Licht zu mindestens 50% zu reflektieren, wird das Objekt 222 mit der Arbeitsstrahlung 214
5 bestrahlt.

Die Anlage 6 der Halbleitertechnologie ist Teil eines Herstellungsprozesses, mit welchem ein strukturiertes elektronisches Bauelement 224 hergestellt werden kann, das in Figur 27 schematisch mit erzeugten Strukturen 226 als Ergebnis eines Gesamtherstellungsprozesses gezeigt ist, der neben dem Prozess in der Anlage 6 der Halbleitertechnologie noch weitere
10 Schritte umfasst. Hier ist jedoch relevant, dass die Anlage 6 der Halbleitertechnologie mindestens ein optisches Element 8 umfasst, das auf einem der Wege der oben erläuterten Verfahrensvarianten hergestellt wurde,

Bei dem strukturierten elektronischen Bauelement 224 handelt es sich insbesondere um einen Computerchip 228, bei dessen Herstellung eine Projektionsbelichtungsanlage, hier
15 die Projektionsbelichtungsanlage 200, verwendet wird, wie es eingangs angesprochen wurde.

5. Schlussbemerkung

Alle obigen Verfahren, Schritte, Abläufe, Konzepte und Prinzipien können miteinander kombiniert werden, was sich auch in den Merkmalskombinationen widerspiegelt, die in den Ansprüchen angegeben sind.

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Einarbeitung von Temperierhohlstrukturen (22) in ein Substrat (12), insbesondere in ein Substrat (12) für ein optisches Element (8), insbesondere für einen Spiegel (10) für eine EUV-Projektionsbelichtungsanlage, mit den folgenden Schritten:
 - (A) Bereitstellen eines Substrats (12), das aus einem Substratmaterial (12a) besteht;
 - 5 (B) Erzeugen einer Intermediat-Struktur (40), welche eine Intermediat-Schicht (42) aus modifiziertem Substratmaterial (44) und eine Intermediat-Hohlstruktur (46) umfasst, die von der Intermediat-Schicht (42) zumindest bereichsweise begrenzt ist, wobei das modifizierte Substratmaterial (44) eine bezogen auf das Substratmaterial (12a) erhöhte Anfälligkeit gegen ein chemisch reaktives Behandlungsmedium hat;
 - 10 (C) Einbringen eines chemisch reaktiven Behandlungsmediums (90) in die Intermediat-Hohlstruktur (46), durch welches die Intermediat-Schicht (42) aus dem modifizierten Substratmaterial (44) entfernt wird, wodurch die Temperierhohlstruktur (22) entsteht;
 - 15 dadurch gekennzeichnet, dass
die Intermediat-Struktur (40) in Schritt (B) erzeugt wird durch
 - (B.1) sukzessives Fokussieren eines Modifikations-Lichtstrahls (56) auf Modifikationsorte (66), so dass an den Modifikationsorten (66) das modifizierte Substratmaterial (44) entsteht;
 - 20 und
 - (B.2) sukzessives Fokussieren eines Abtragungs-Lichtstrahls (70) auf Abtragungsorte (72), so dass an den Abtragungsorten (72) Material (44; 12a) abgetragen wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine erste Prozessroute (P1) oder eine zweite Prozessroute (P2) durchgeführt wird, wobei

- bei der ersten Prozessroute (P1) in einem ersten Prozessschritt (P1-S1) der Schritt (B.1) und in einem zweiten Prozessschritt (P1-S2) der Schritt (B.2) durchgeführt wird; und
 - bei der zweiten Prozessroute (P2) in einem ersten Prozessschritt (P2-S1) der Schritt (B.2) und in einem zweiten Prozessschritt (P2-S2) der Schritt (B.1) durchgeführt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Prozessroute (P1) durchgeführt wird und
- in deren ersten Prozessschritt (P1-S1) durch Schritt (B.1) Materialstrukturen (52) erzeugt werden, welche modifiziertes Substratmaterial (44) umfassen; und
- in deren zweiten Prozessschritt (P1-S2) Material (44; 12a) durch Schritt (B.2) derart abgetragen wird, dass die Intermediat-Hohlstruktur (46) erzeugt wird und für die Intermediat-Schicht (42) modifiziertes Substratmaterial (44) der Materialstruktur (52) stehen gelassen wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass im ersten Prozessschritt (P1-S1) der ersten Prozessroute (P1) der Schritt (B.1) derart durchgeführt wird, dass Materialstrukturen (52) einer ersten Art (52-I) oder Materialstrukturen (52) einer zweiten Art (52-II) erzeugt werden, wobei
- bei Materialstrukturen (52) der ersten Art (52-I) das modifizierte Substratmaterial (44) querschnittfüllend erzeugt wird; und
 - bei Materialstrukturen (52) der zweiten Art (52-II) modifiziertes Substratmaterial (44) derart erzeugt wird, dass ein Kernbereich aus Substratmaterial (12a) verbleibt, der zumindest bereichsweise von modifiziertem Substratmaterial (44) begrenzt ist.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass im zweiten Prozessschritt (P1-S2) der ersten Prozessroute (P1) der Schritt (B.2) in der Weise durchgeführt wird, dass bei Materialstrukturen (52) der ersten Art (52-I) modifiziertes Substratmaterial (44) und bei Materialstrukturen (52) der zweiten Art (52-II) das Substratmaterial (12a)

des Kernbereichs derart abgetragen wird, dass die Intermediat-Hohlstruktur (46) erzeugt wird und die Intermediat-Schicht (42) durch das stehengelassene modifizierte Substratmaterial (44) der Materialstruktur (52) gebildet wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite
5 Prozessroute (P2) durchgeführt wird und

in deren ersten Prozessschritt (P2-S1) durch Schritt (B.2) Substratmaterial (12a) des Substrats (12) derart abgetragen wird, dass die Intermediat-Hohlstruktur (46) erzeugt wird; und

- in deren zweiten Prozessschritt (P2-S2) durch Schritt (B.1) die Intermediat-Schicht (42)
10 aus modifiziertem Material (44) erzeugt wird, so dass die Intermediat-Struktur (40) entsteht.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass bei dem zweiten Prozessschritt (P2-S2) der zweiten Prozessroute (P2) die Intermediat-Hohlstruktur (46) mit einer Hilfsflüssigkeit (84) gefüllt wird, so dass sie mit der Hilfsflüssigkeit gefüllt ist, wenn
15 Schritt (B.1) durchgeführt wird, wobei die Hilfsflüssigkeit vorzugsweise als stehendes Flüssigkeitsvolumen gehalten wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass eine Hilfsflüssigkeit (84) verwendet wird, deren Brechungsindex n_F bei der Wellenlänge des Modifikationslichtstrahls (56) zum Brechungsindex n_M des Substratmaterials (12a) bei derselben
20 Wellenlänge mit einer Toleranz von weniger als 20%, bevorzugt mit einer Toleranz von weniger als 10%, bevorzugter mit einer Toleranz von weniger als 5% und besonders bevorzugt mit einer Toleranz von weniger als 1% bezogen auf den Brechungsindex n_M des Substratmaterials (12a) passt.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Abtragungsorte (72) mit einem Spülfluid (76) beaufschlagt werden, während Schritt (B.2)
25 durchgeführt wird, wodurch abgetragenes Material (44; 12a) weggespült wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Intermediat-Hohlstruktur (40) in Schritt (C) zumindest zeitweise, vorzugsweise zeitlich durchgehend, von dem chemisch aktiven Behandlungsmedium (90) durchströmt wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das chemisch aktive Behandlungsmedium (90) ein Ätzmedium (90'), ein Oxidationsmittel oder ein Reduktionsmittel ist, und insbesondere ein Ätzmedium (90') ist, durch welches in Schritt (C) die Intermediat-Schicht (42) aus dem modifizierten Substratmaterial (44) durch einen Ätzprozess entfernt wird.
12. Verfahren zur Herstellung eines optischen Elements, insbesondere zur Herstellung eines Spiegels (10) für eine EUV-Projektionsbelichtungsanlage, dadurch gekennzeichnet, dass Temperierhohlstrukturen (22) gemäß dem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11 in das Substrat (12) eingearbeitet werden und eine weitere Bearbeitung einen oder mehrere Schritte einer chemischen und/oder physikalischen Bearbeitung mindestens einer Oberfläche des Substrats (12) sowie das Erzeugen oder Aufbringen einer Beschichtung (16) auf das Substrat (12) umfasst, die zumindest dazu eingerichtet ist, senkrecht oder nahezu senkrecht auftreffendes EUV-Licht zu mindestens 50% zu reflektieren.
13. Substrat, vorzugsweise monolithisches Substrat, zur Herstellung eines optischen Elements, insbesondere zur Herstellung eines Spiegels (10) für eine EUV-Projektionsbelichtungsanlage, wobei das Substrat (12) Temperierhohlstrukturen (22), insbesondere Temperierhohlstrukturen (22), welche gemäß dem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11 in das Substrat (12) eingearbeitet sind, aufweist,
- dadurch gekennzeichnet, dass
- wenigstens eine Temperierhohlstruktur (22) eine Innenmantelfläche (102) definiert, welche zumindest bereichsweise einen Mittenrauwert Ra gemäß DIN EN ISO 25178, Stand 04/2023, zwischen 10,0 µm und 5,0 µm hat, der insbesondere zwischen 10,0 µm und 6,5 µm, zwischen 10,0 µm und 8,0 µm, zwischen 8,5 µm und 5,0 µm, zwischen 7,0 µm und 5,0 µm oder zwischen 8,5 µm und 6,5 µm liegen kann, oder welche zumindest

bereichsweise einen Mittenrauwert R_a von $5,0\text{ }\mu\text{m}$ und weniger hat, der insbesondere zwischen $5,0\text{ }\mu\text{m}$ und $0,1\text{ }\mu\text{m}$, bevorzugt zwischen $4,5\text{ }\mu\text{m}$ und $0,125\text{ }\mu\text{m}$, zwischen $4,0\text{ }\mu\text{m}$ und $0,15\text{ }\mu\text{m}$, zwischen $3,5\text{ }\mu\text{m}$ und $0,175\text{ }\mu\text{m}$ oder zwischen $3,0\text{ }\mu\text{m}$ und $0,2\text{ }\mu\text{m}$ liegt.

- 5 14. Substrat, vorzugsweise monolithisches Substrat, zur Herstellung eines optischen Elements, insbesondere zur Herstellung eines Spiegels (10) für eine EUV-Projektionsbelichtungsanlage, wobei das Substrat (12) Temperierhohlstrukturen (22), insbesondere Temperierhohlstrukturen (22), welche gemäß dem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11 in das Substrat (12) eingearbeitet sind, aufweist,
- 10 dadurch gekennzeichnet, dass
- wenigstens eine Temperierhohlstruktur (22) eine Innenmantelfläche (102) definiert, die eine Oberflächentopographie (108) aufweist, deren geometrische Gestalt sich aus einer wenigstens bereichsweisen Überlagerung von Senkstrukturen (110) ergibt, die sich in ein Substratmaterial (12a) des Substrats (12) hinein erstrecken.
- 15 15. Substrat nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass ein oder mehrere Senkstrukturen (110) Segmente von in sich punktsymmetrischen oder zumindest achssymmetrischen Körpern sind.
16. Substrat nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Oberflächentopographie (108) aneinandergrenzende Senkbereiche (112) definiert, zwischen denen
- 20 Randbezirke (114), insbesondere linienhafte Randbezirke (114), verlaufen.
17. Substrat nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass ein oder mehrere Senkbereiche (112) achssymmetrisch oder nicht achssymmetrisch sind.
18. Substrat nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass ein achssymmetrischer Senkbereich (112) einem Abschnitt der Außenmantelfläche eines Kugelsegments, eines Ellipsoidsegments oder eines Paraboloids folgt.
- 25

19. Substrat nach einem der Ansprüche 13 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine Temperierhohlstruktur (22) ein Temperierkanal (34) ist, der eines oder mehrere der folgenden Merkmale hat:
- a) der Temperierkanal (34) hat einen Durchmesser zwischen 0,5 mm und 20 mm, bevorzugt zwischen 1 mm und 5 mm;
 - b) der Temperierkanal (34) hat eine Länge von mindestens 10 cm, mindestens 15 cm oder mindestens 20 cm.
 - c) der Temperierkanal (34) ist gekrümmt oder weist zumindest einen gekrümmten Abschnitt (116; 118) auf;
 - d) der Temperierkanal (34) weist einen Abschnitt (116) auf, welcher der Krümmung einer Trägerfläche (14) für eine Beschichtung (16) des Substrats (12) folgt;
 - e) der Temperierkanal (34) weist einen stark gekrümmten Abschnitt (118) auf, der einen Krümmungswinkel zwischen 60° und 120°, insbesondere zwischen 80° und 100°, bevorzugt von etwa 90° hat;
 - f) der Temperierkanal (34) weist einen stark gekrümmten Abschnitt (118) auf, der einen Krümmungswinkel zwischen 60° und 120°, insbesondere zwischen 80° und 100°, bevorzugt von etwa 90° hat und einem Bogen folgt;
 - g) der Temperierkanal (34) weist einen stark gekrümmten Abschnitt (118) auf, der einen Krümmungswinkel zwischen 60° und 120°, insbesondere zwischen 80° und 100°, bevorzugt von etwa 90° hat und einem Bogen folgt und einen äußeren Krümmungsradius R und einen Durchmesser D definiert, wobei ein Verhältnis R/D des Krümmungsradius R zum Durchmesser D zwischen 2 und 6, bevorzugt zwischen 2,5 und 5 und insbesondere bevorzugt zwischen 2,5 und 3,5 liegt;
 - h) der Temperierkanal (34) bezogen auf eine Trägerfläche (14) für eine Beschichtung (16) des Substrats (12) in einem Abstand von 1,0 mm bis 50,0 mm, von 1,0 mm bis 20,0 mm, von 1,0 mm bis 10,0 mm oder von 1,0 mm bis 5,0 mm verläuft.

20. Substrat, vorzugsweise monolithisches Substrat, zur Herstellung eines optischen Elements (8), insbesondere zur Herstellung eines Spiegels (10) für eine EUV-Projektionsbelichtungsanlage, welches Temperierhohlstrukturen (22), insbesondere Temperierhohlstrukturen (22), welche gemäß dem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11
5 in das Substrat (12) eingearbeitet sind, aufweist, und eine Trägerfläche (14) für eine Beschichtung (16) definiert,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Pässe der Trägerfläche (14) sich bei einer Lebensdauer des Substrats (12) von bis zu 10 Jahren, zumindest bis zu fünf Jahren und mindestens bis zu zwei Jahren um we-
10 niger als 100 pm, insbesondere um weniger als 50 pm und weiter insbesondere um weniger als 25 pm ändert.
21. Substrat mit den Merkmalen nach Anspruch 13 und mit den Merkmalen nach mindestens einem der Ansprüche 14 bis 19.
22. Substrat mit den Merkmalen nach den Ansprüchen 20 und 21.
- 15 23. Substrat nach einem der Ansprüche 13 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass Temperierhohlstrukturen (22) gemäß dem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11 eingearbeitet sind.
24. Optisches Element, insbesondere Spiegel (10) für eine EUV-Projektionsbelichtungsanlage, mit einem Substrat (12),

20 dadurch gekennzeichnet, dass

das Substrat (12) ein Substrat (12) nach einem der Ansprüche 12 bis 23 ist.
25. Optisches Element, insbesondere Spiegel (10) für eine EUV-Projektionsbelichtungsanlage, mit einem Substrat (12), insbesondere optisches Element nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, dass die Pässe des optischen Elements (8) sich bei einer Le-
25 bensdauer des optischen Elements von bis zu 10 Jahren, zumindest bis zu fünf Jahren

und mindestens bis zu zwei Jahren um weniger als 100 pm, insbesondere um weniger als 50 pm und weiter insbesondere um weniger als 25 pm ändert.

26. Optisches Element nach einem der Ansprüche 24 oder 25, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Element (8) ein Spiegel (10) für eine EUV-Projektionsbelichtungsanlage ist, wobei das Substrat (12) eine Trägerfläche (14) hat, welche eine Beschichtung (16) trägt, die zumindest dazu eingerichtet ist, senkrecht oder nahezu senkrecht auftreffendes EUV-Licht zu mindestens 50% zu reflektieren.
27. Optisches Element nach den Ansprüchen 26 und 25 und 24.
28. Anlage der Halbleitertechnologie, insbesondere eine EUV-Projektionsbelichtungsanlage (200), eine Maskeninspektionsanlage oder eine Waferinspektionsanlage, bei welcher ein Objekt (222) mit Hilfe wenigstens eines optischen Elements (8) mit einer Arbeitsstrahlung (214) bestrahlbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Element (8) ein optisches Element (8) nach einem der Ansprüche 24 bis 27 ist.
29. Anlage nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass die Anlage (6) eine EUV-Projektionsbelichtungsanlage (200) ist und dass das wenigstens eine optische Element (8) ein Spiegel (10) nach Anspruch 26 ist.
30. Strukturiertes elektronisches Bauelement, dadurch gekennzeichnet, dass das strukturierte elektronische Bauelement (224) mit Hilfe einer Anlage (6) der Halbleitertechnologie nach Anspruch 28 oder 29 und unter Verwendung von mindestens einem optischen Element (8) nach einem der Ansprüche 24 bis 27 hergestellt wurde.

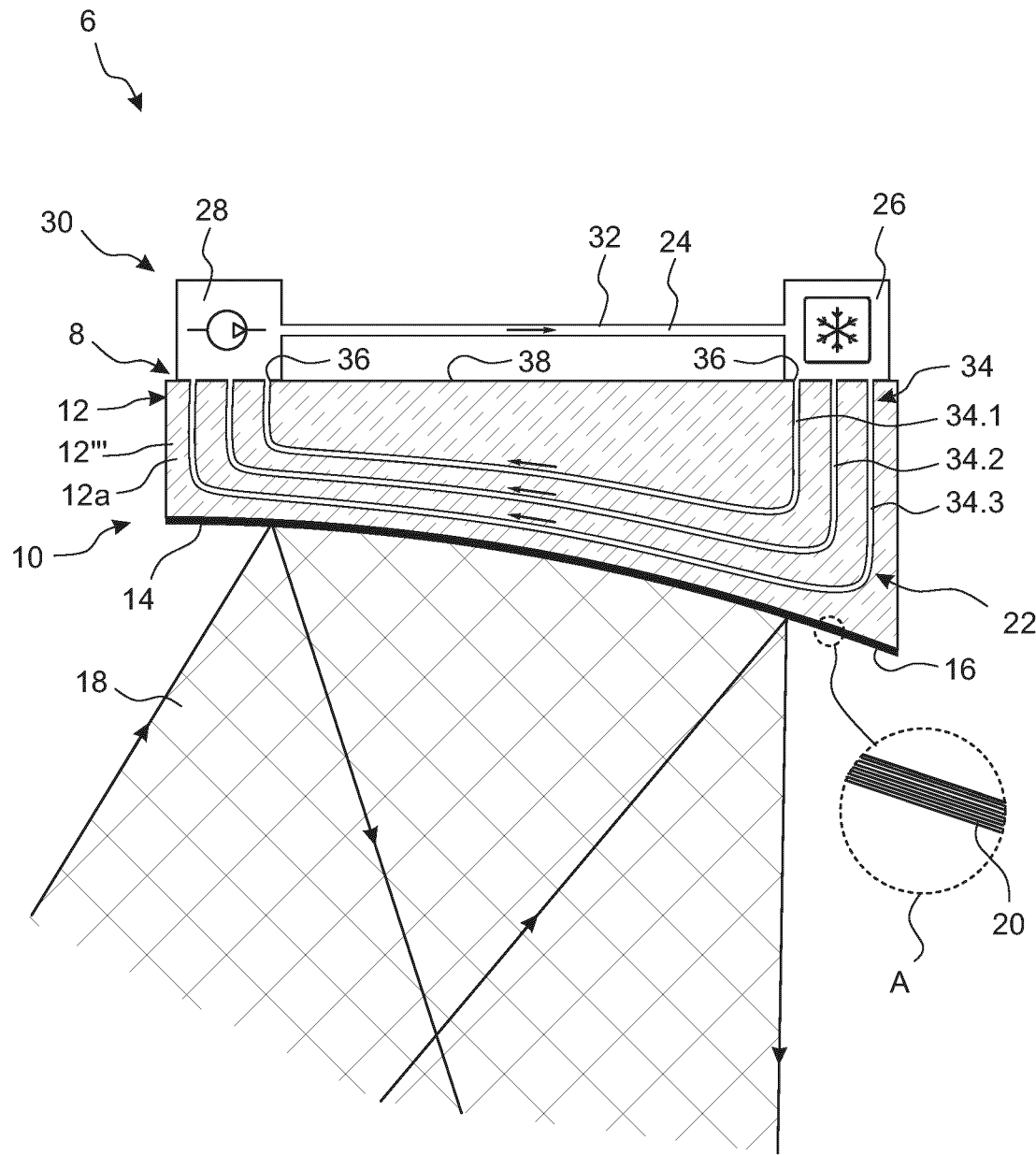


Fig. 1

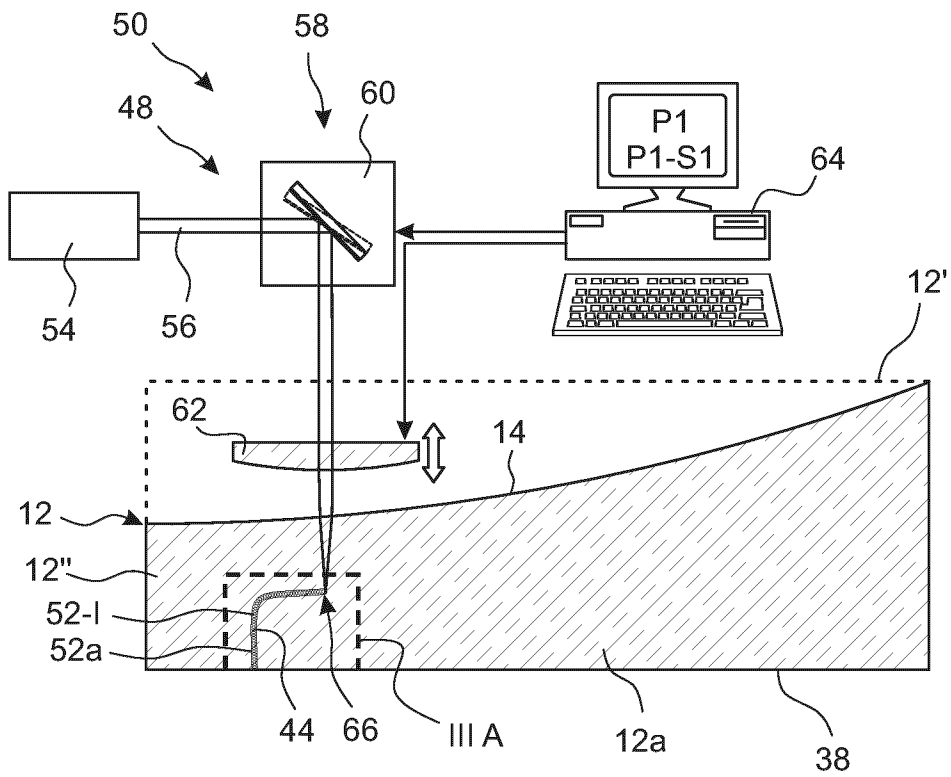


Fig. 2

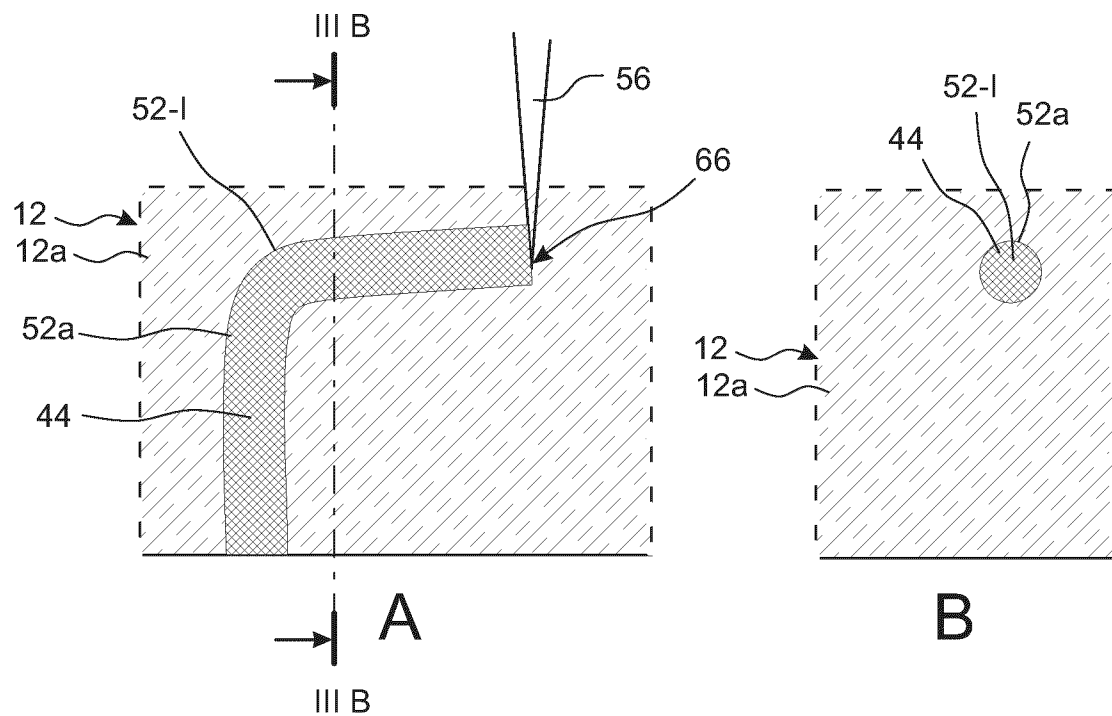


Fig. 3

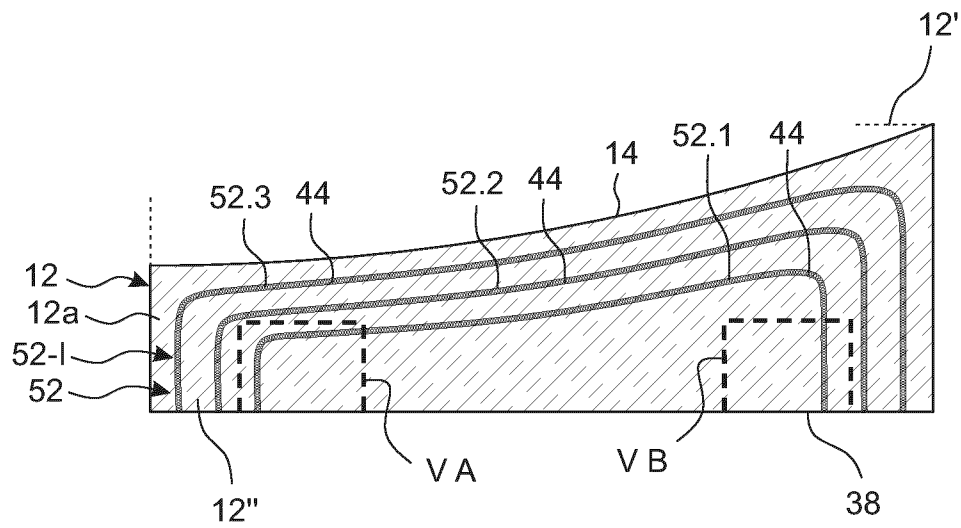


Fig. 4

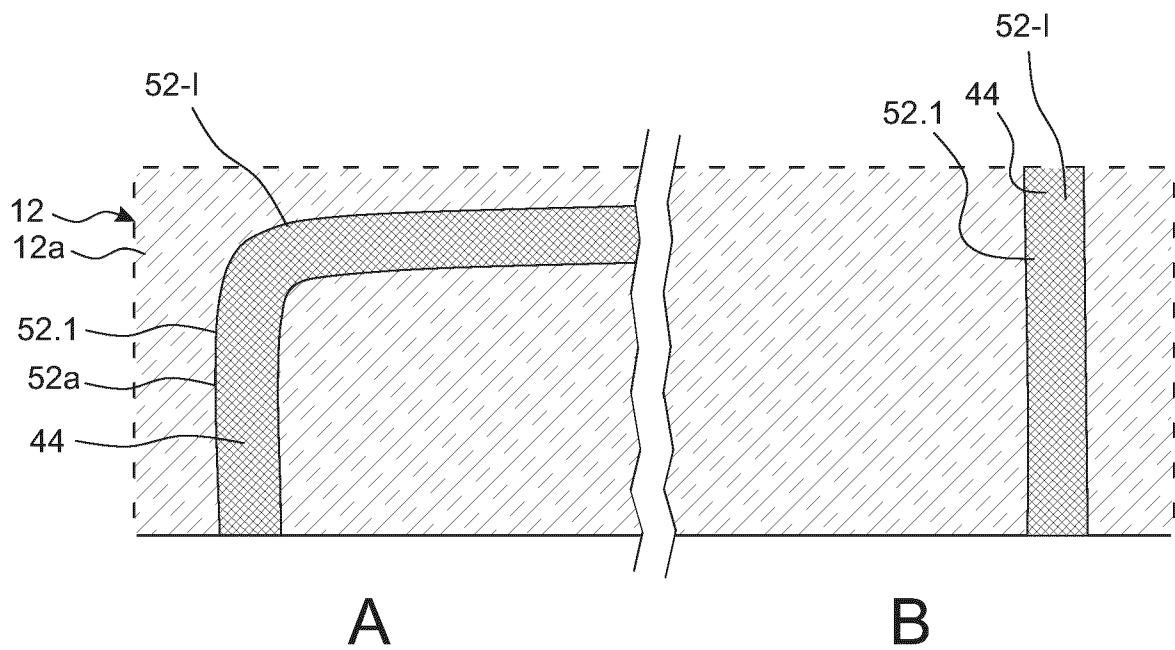


Fig. 5

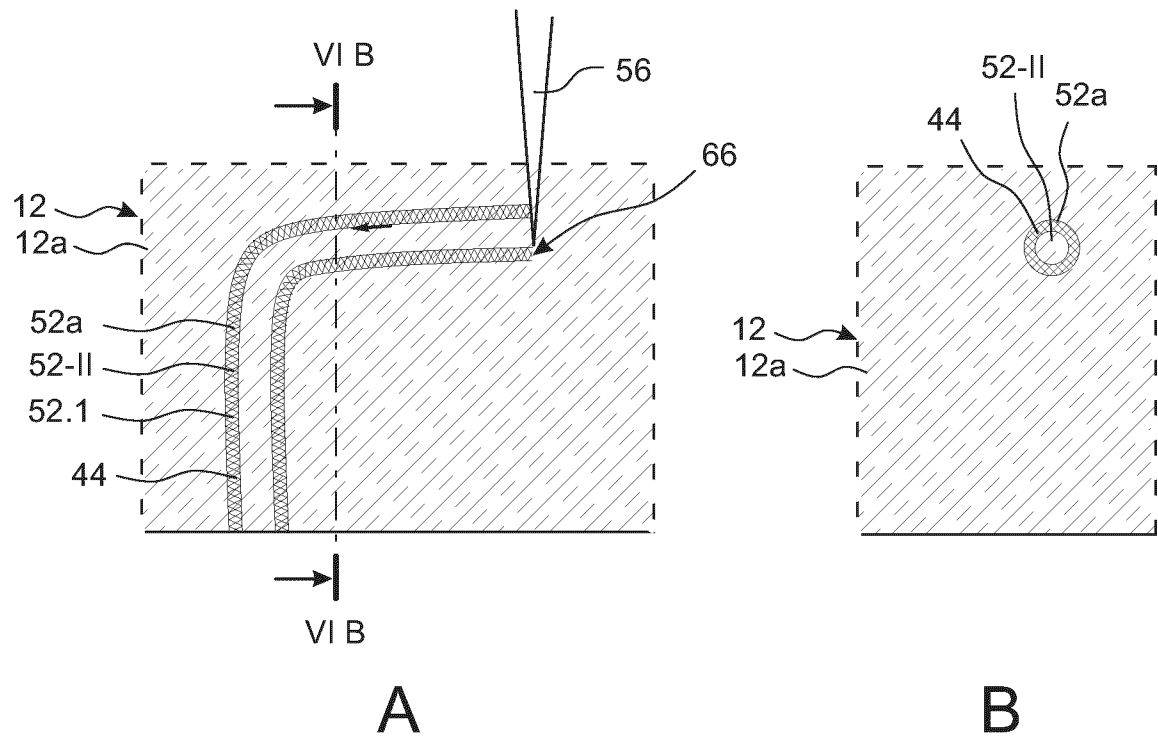


Fig. 6

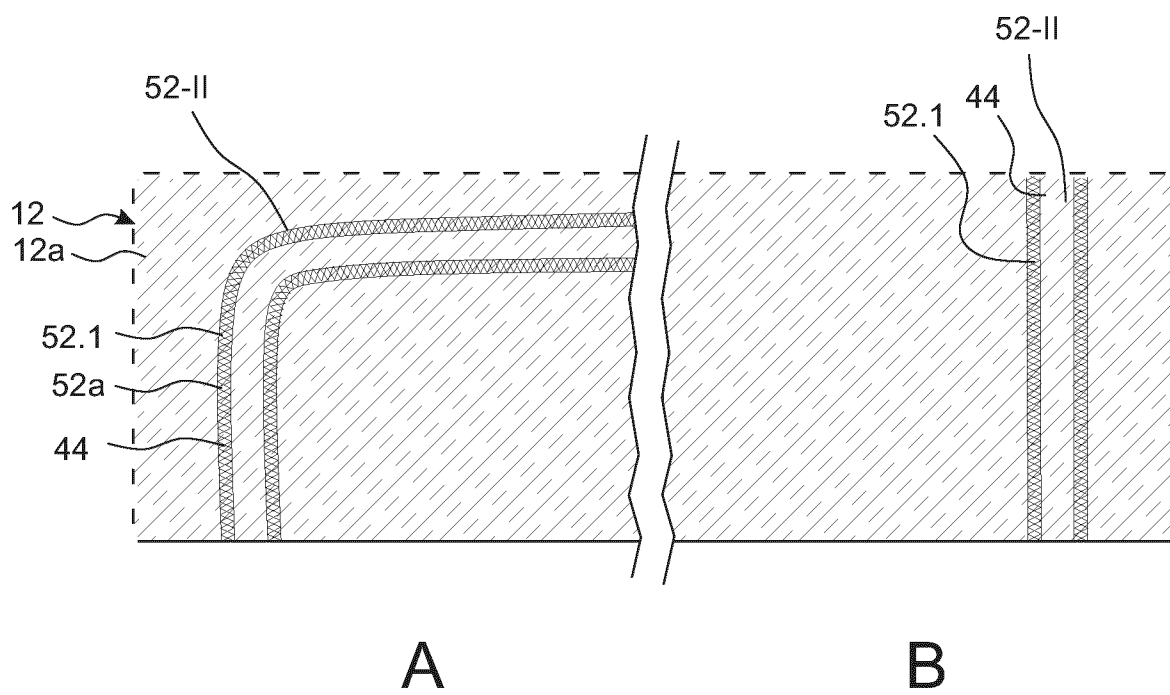


Fig. 7

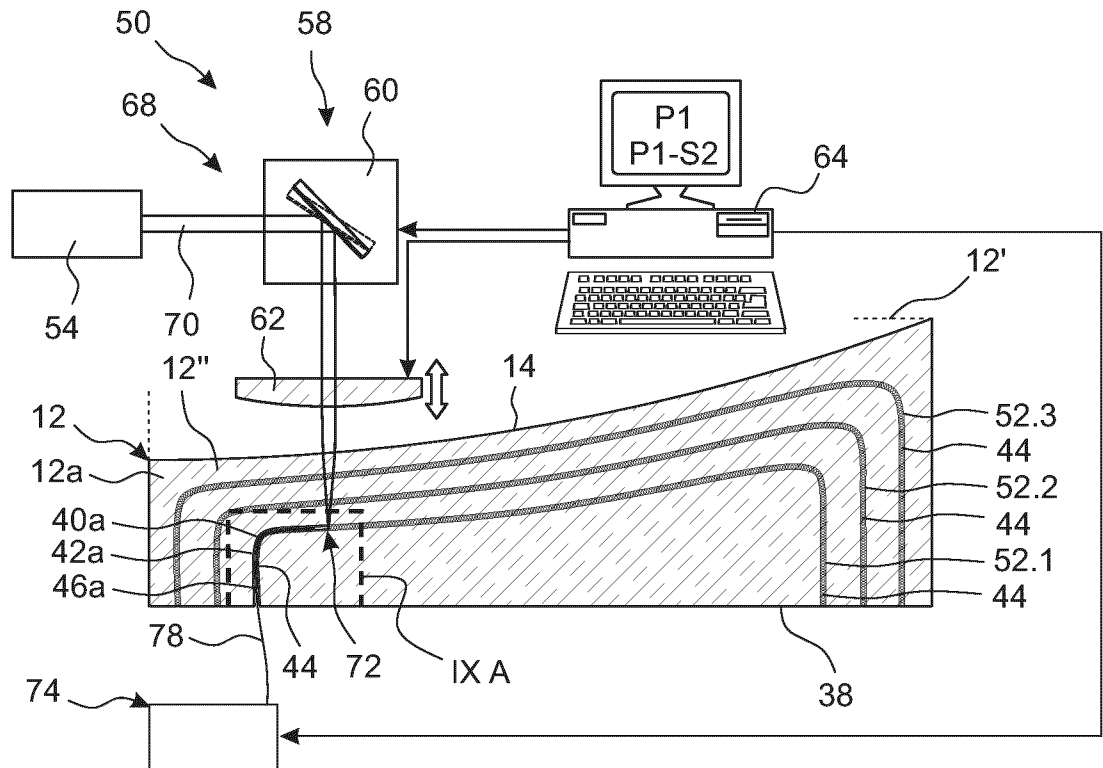


Fig. 8

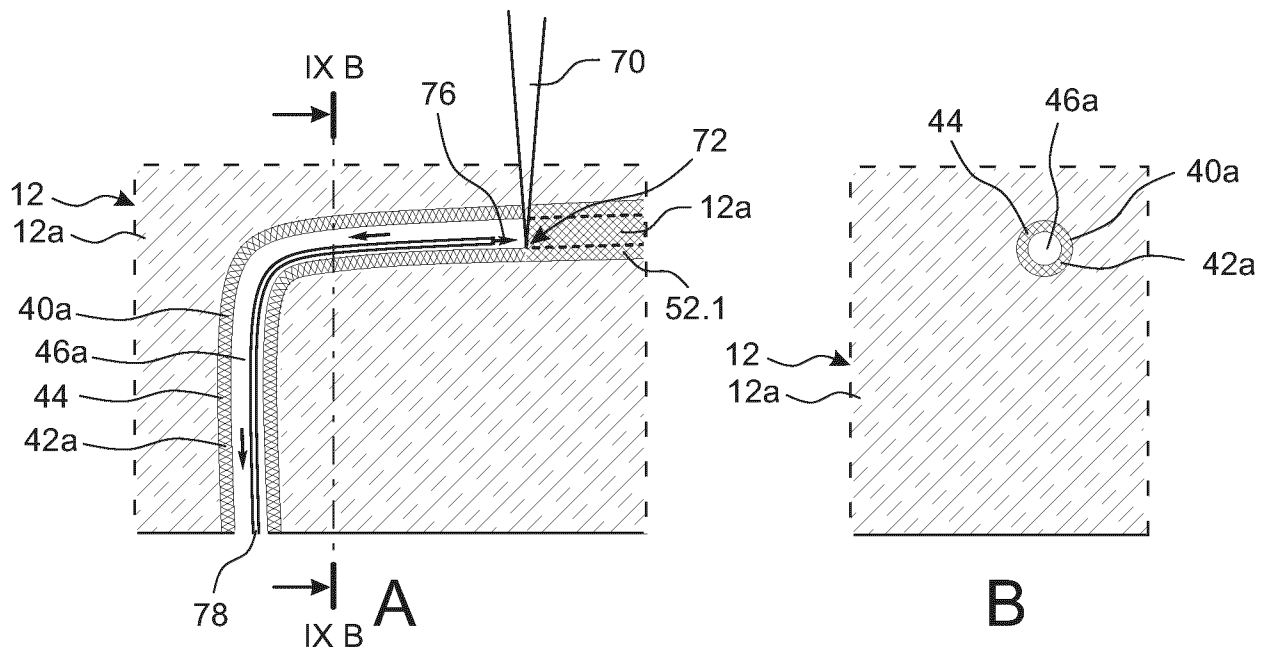


Fig. 9

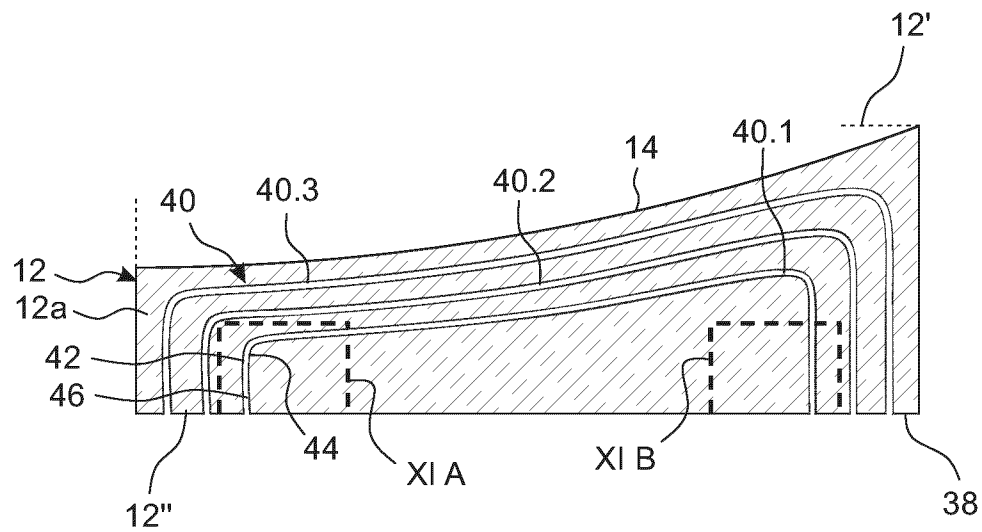


Fig. 10

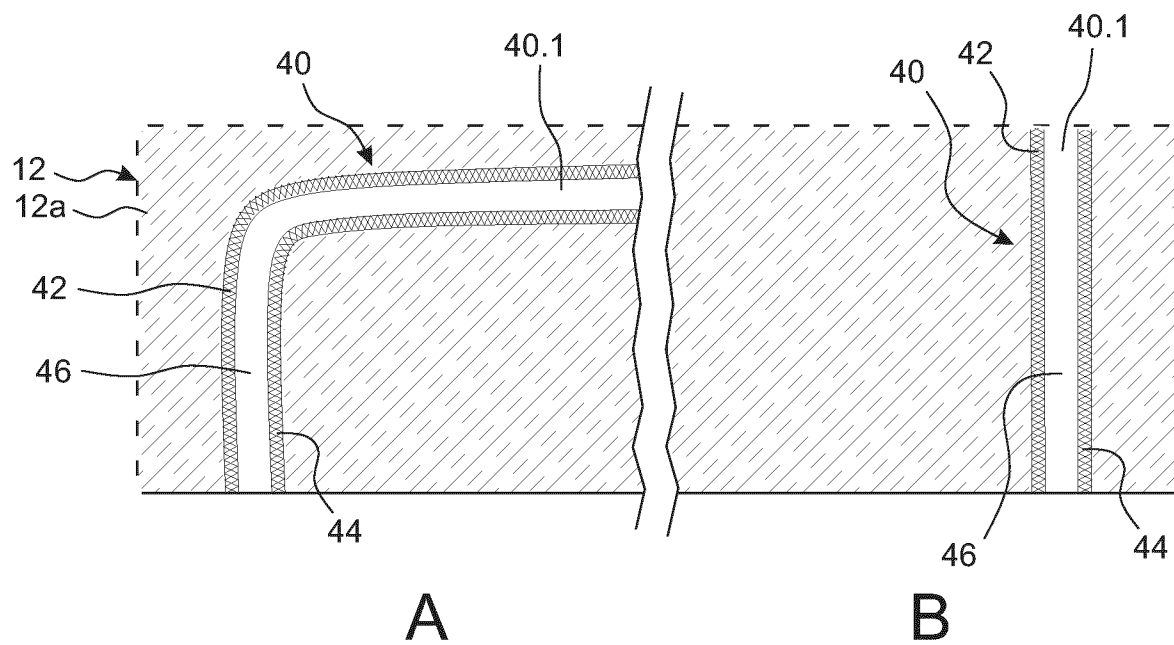


Fig. 11

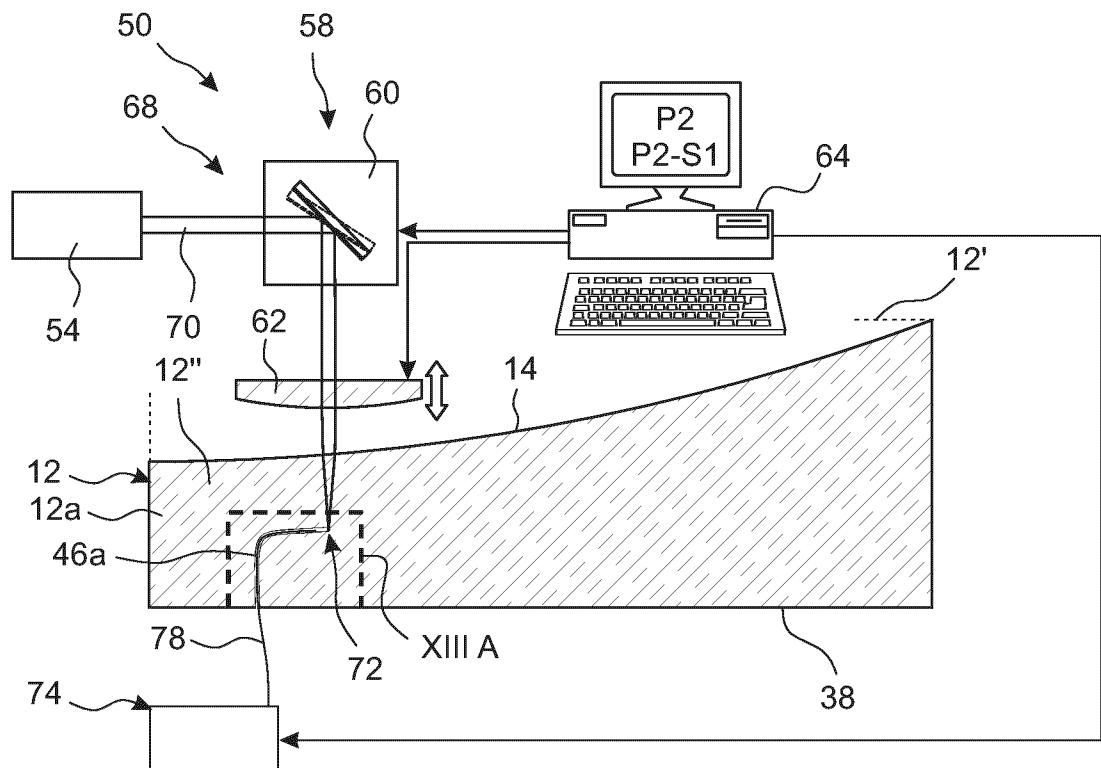


Fig. 12

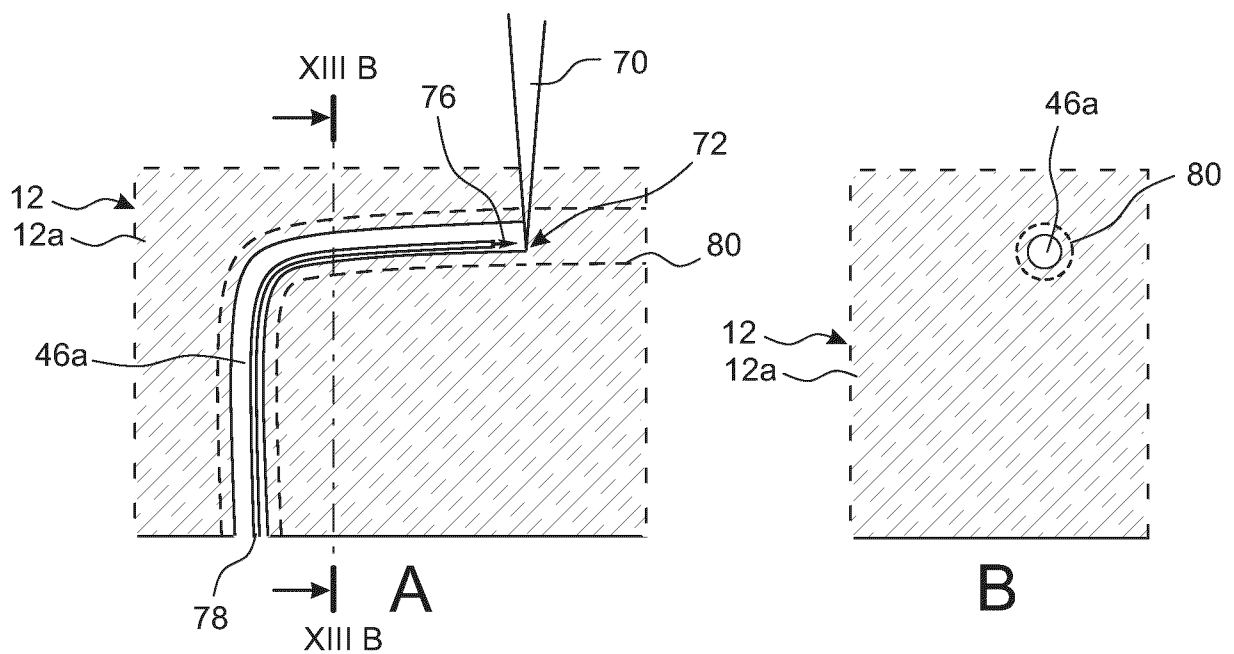


Fig. 13

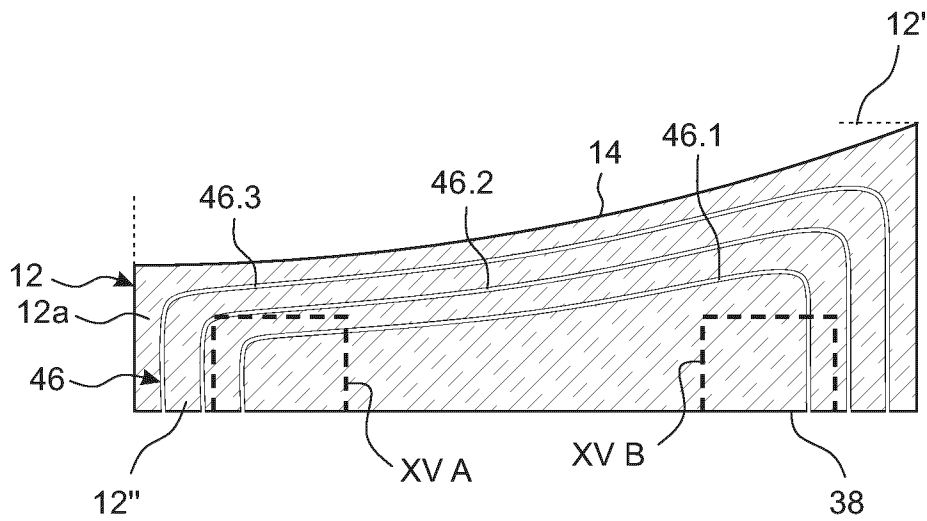


Fig. 14

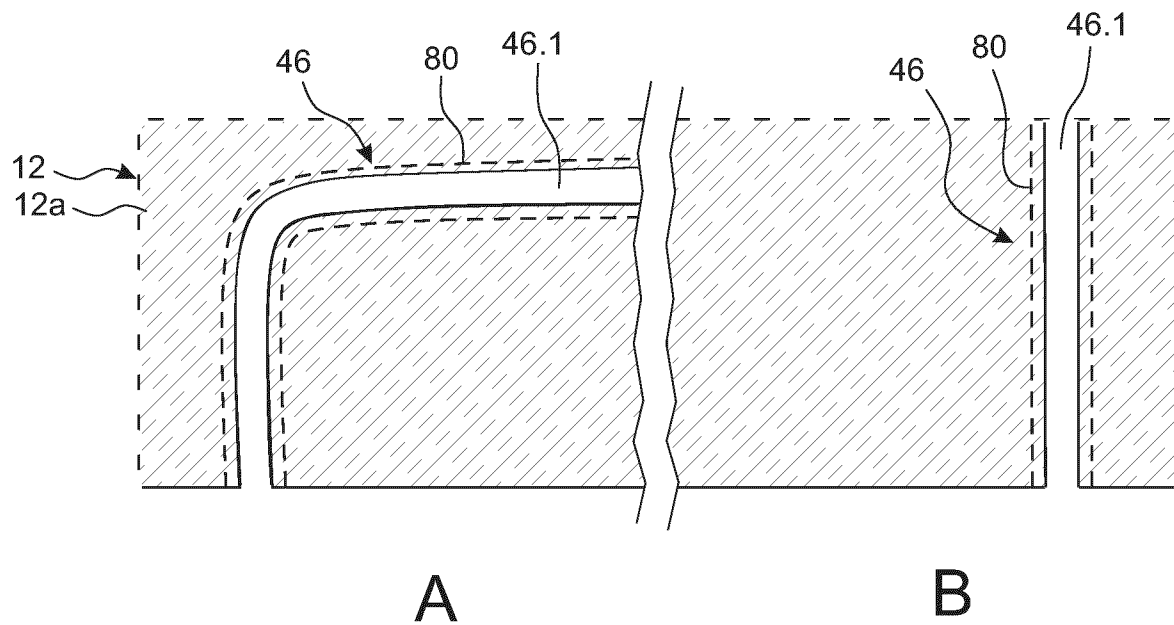


Fig. 15

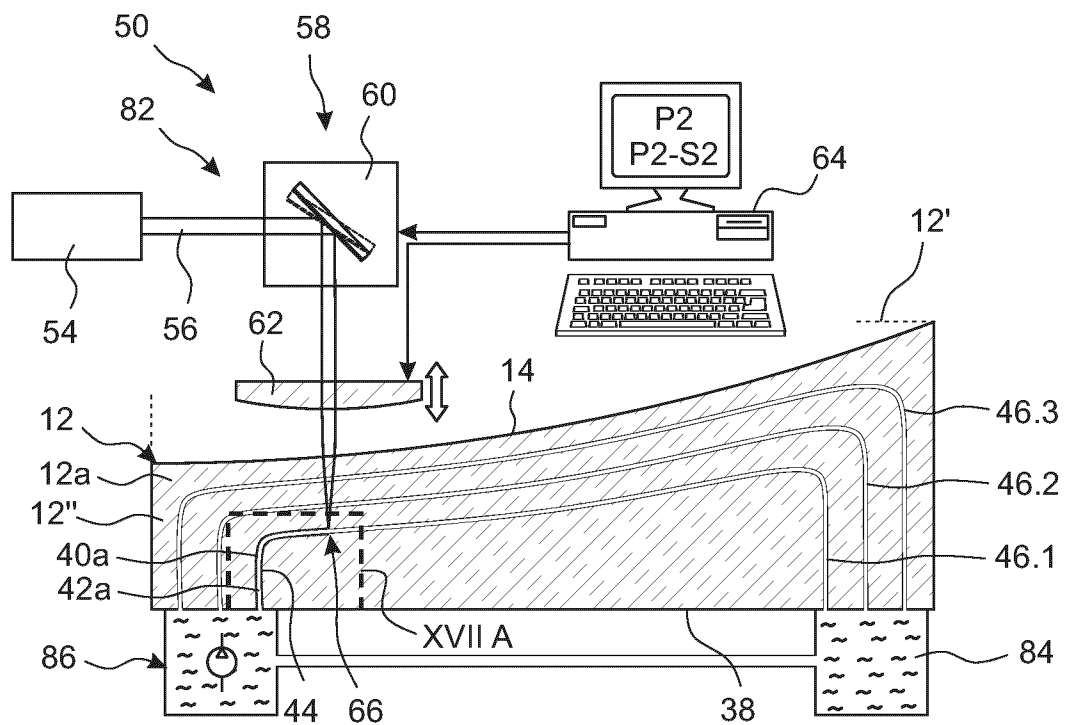


Fig. 16

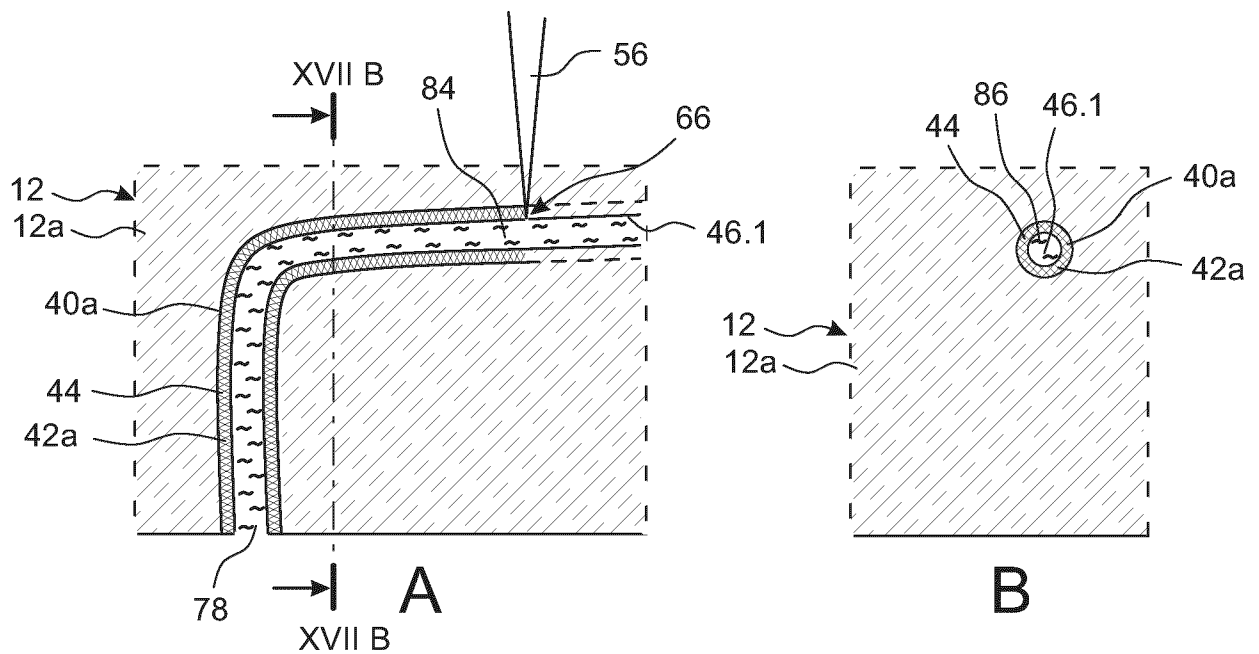


Fig. 17

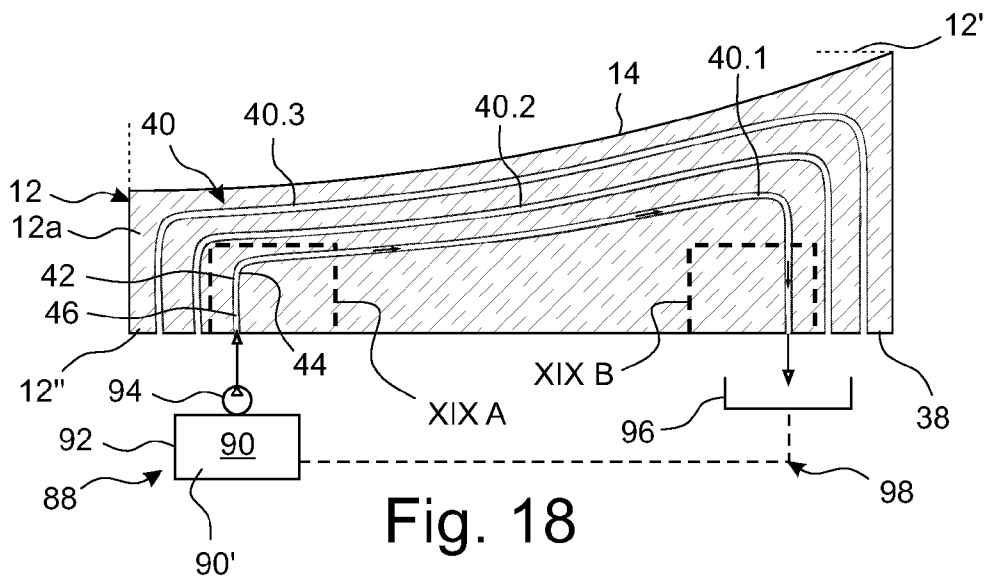


Fig. 18

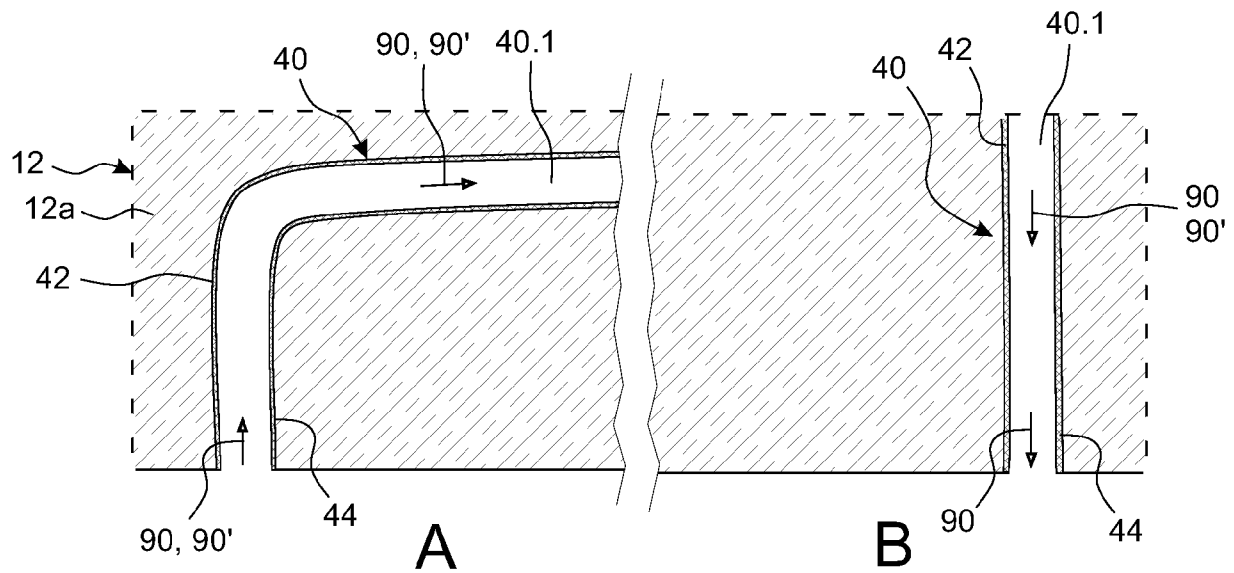


Fig. 19

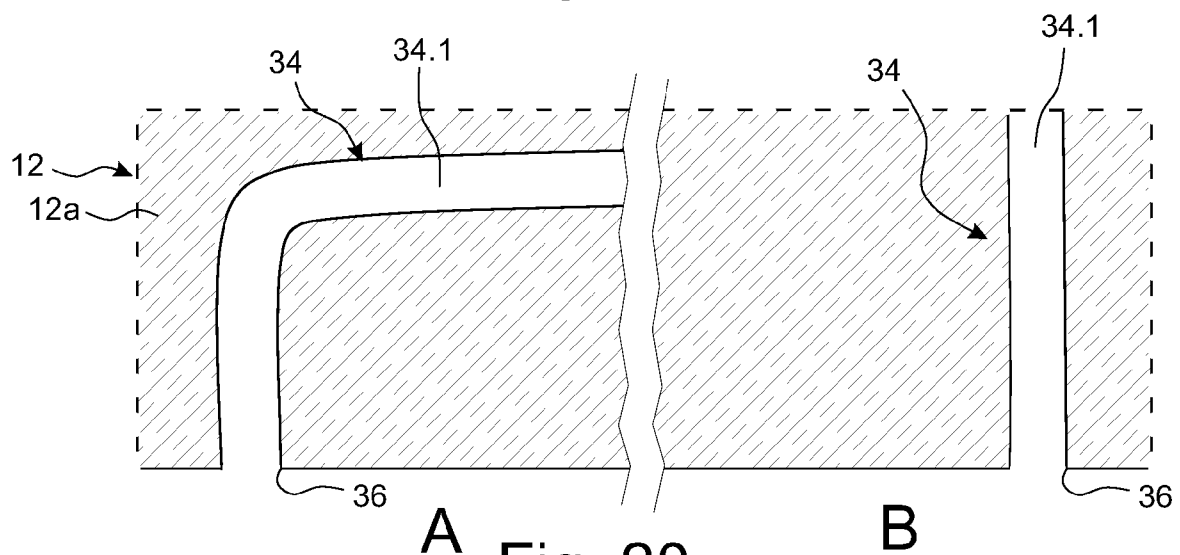


Fig. 20

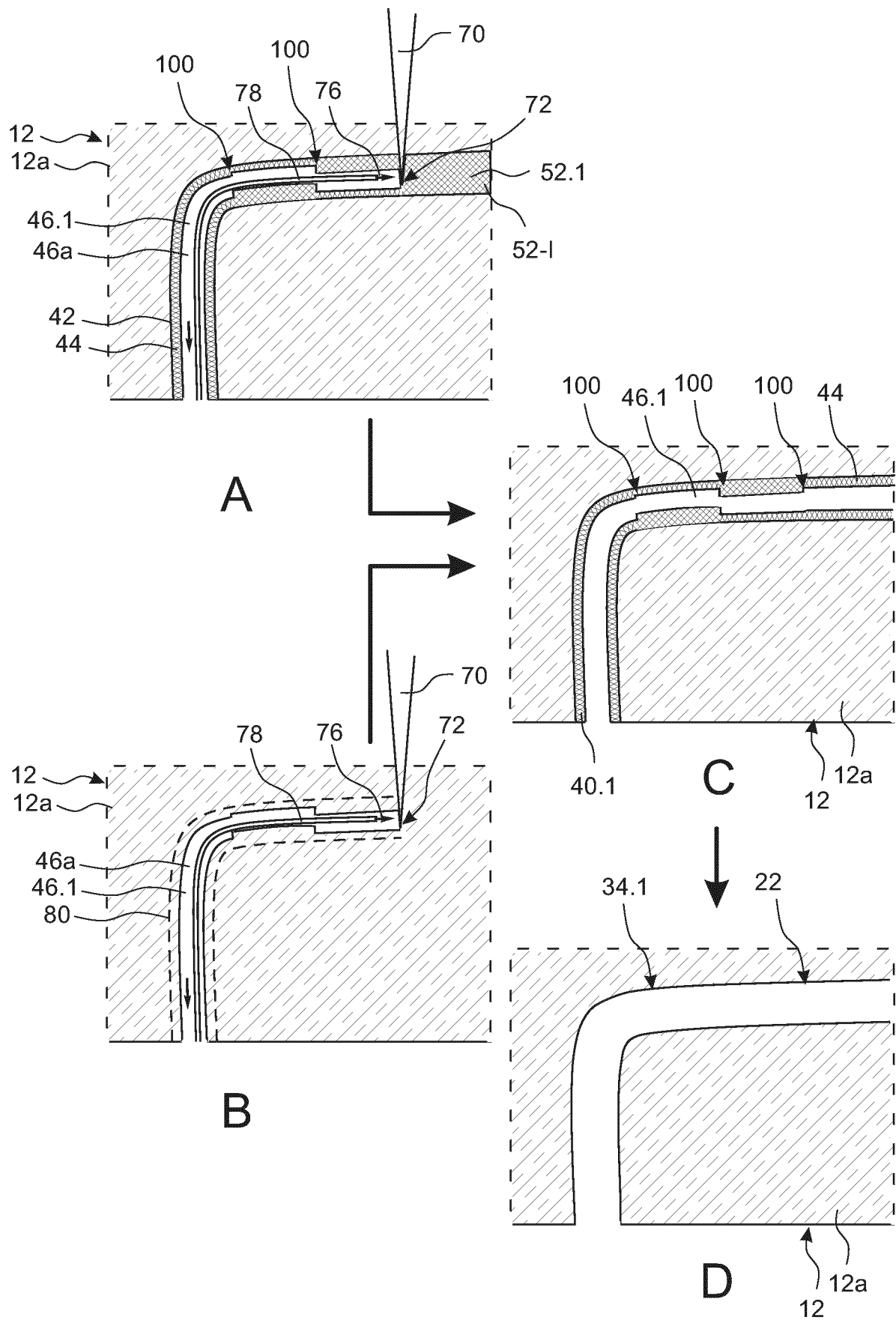


Fig. 21

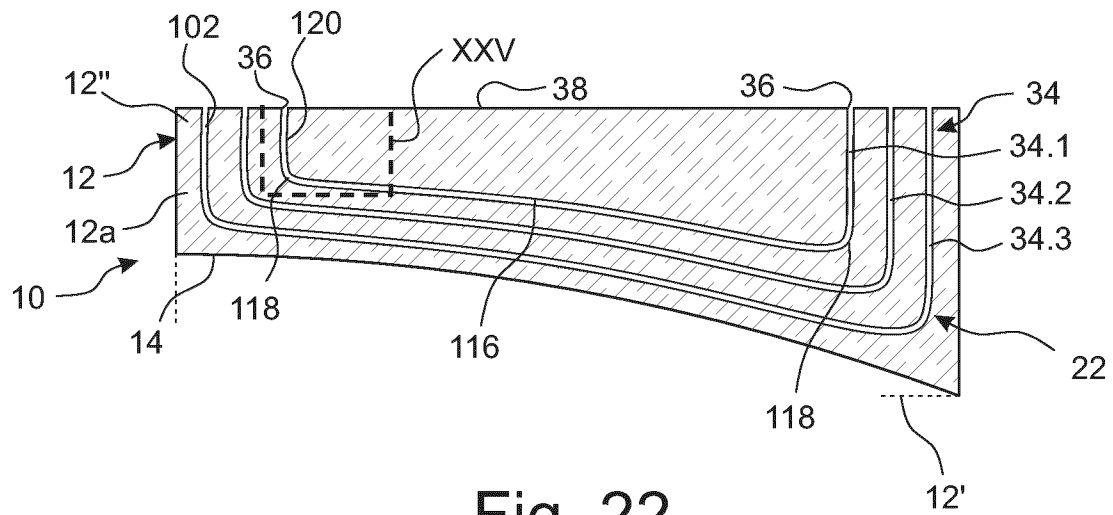


Fig. 22

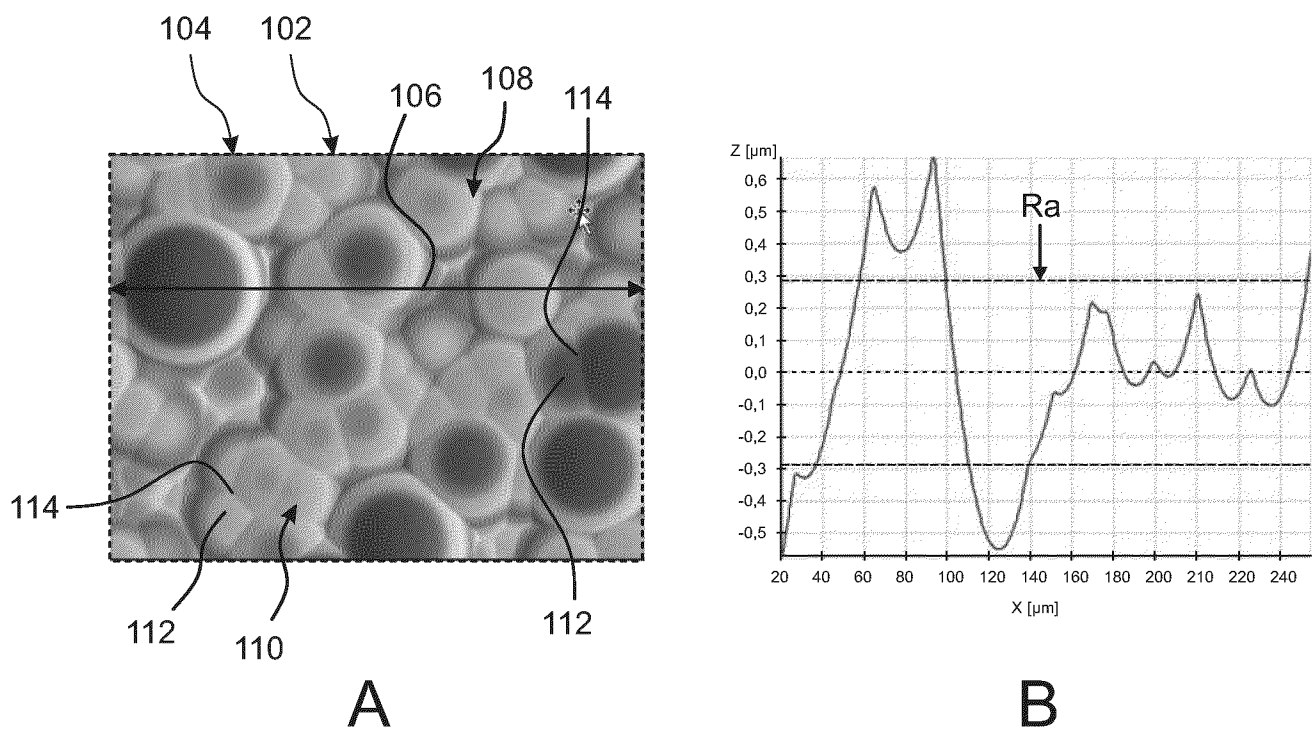


Fig. 23

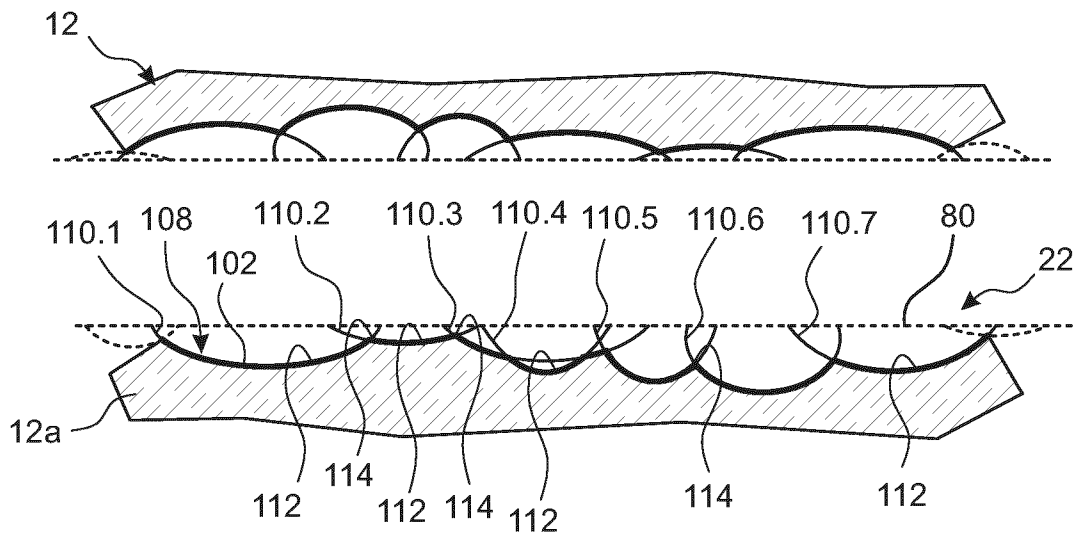


Fig. 24

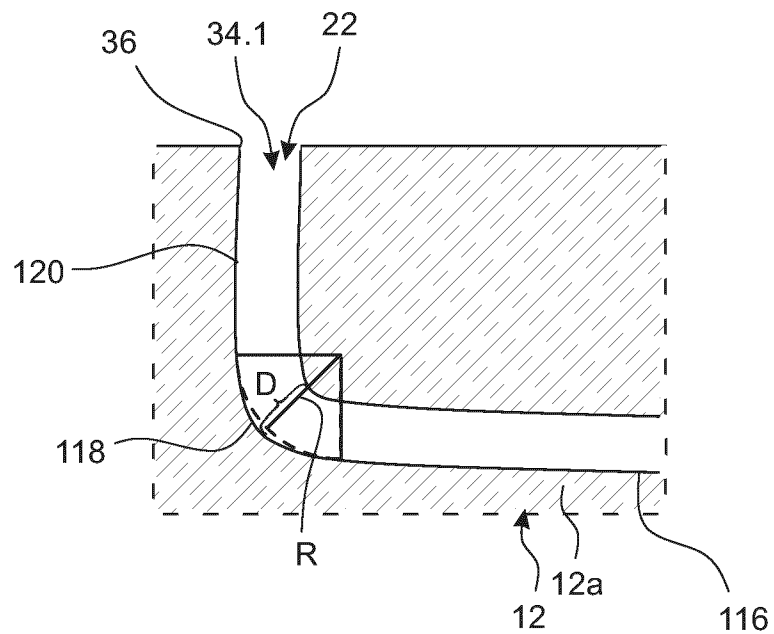


Fig. 25

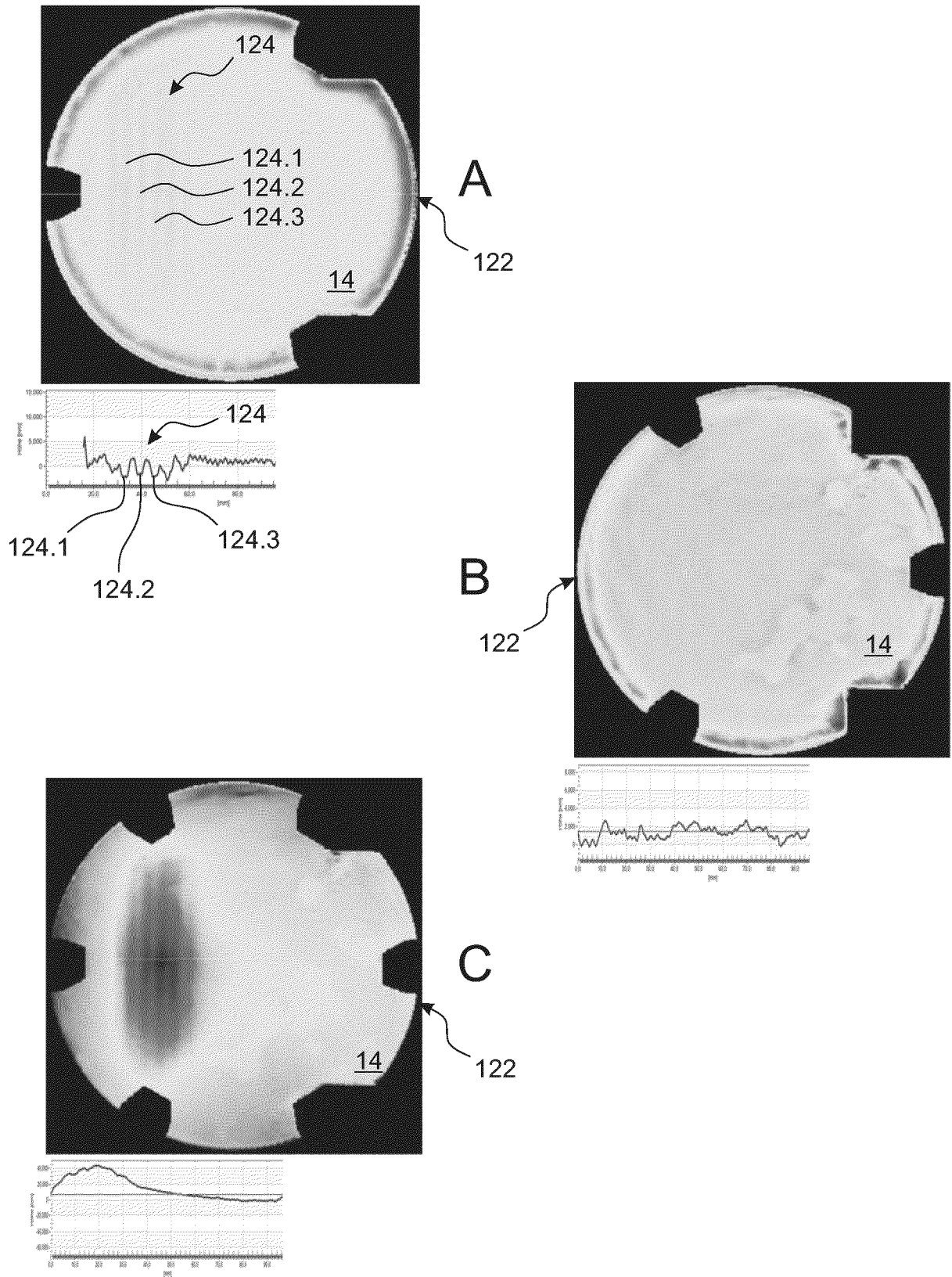


Fig. 26

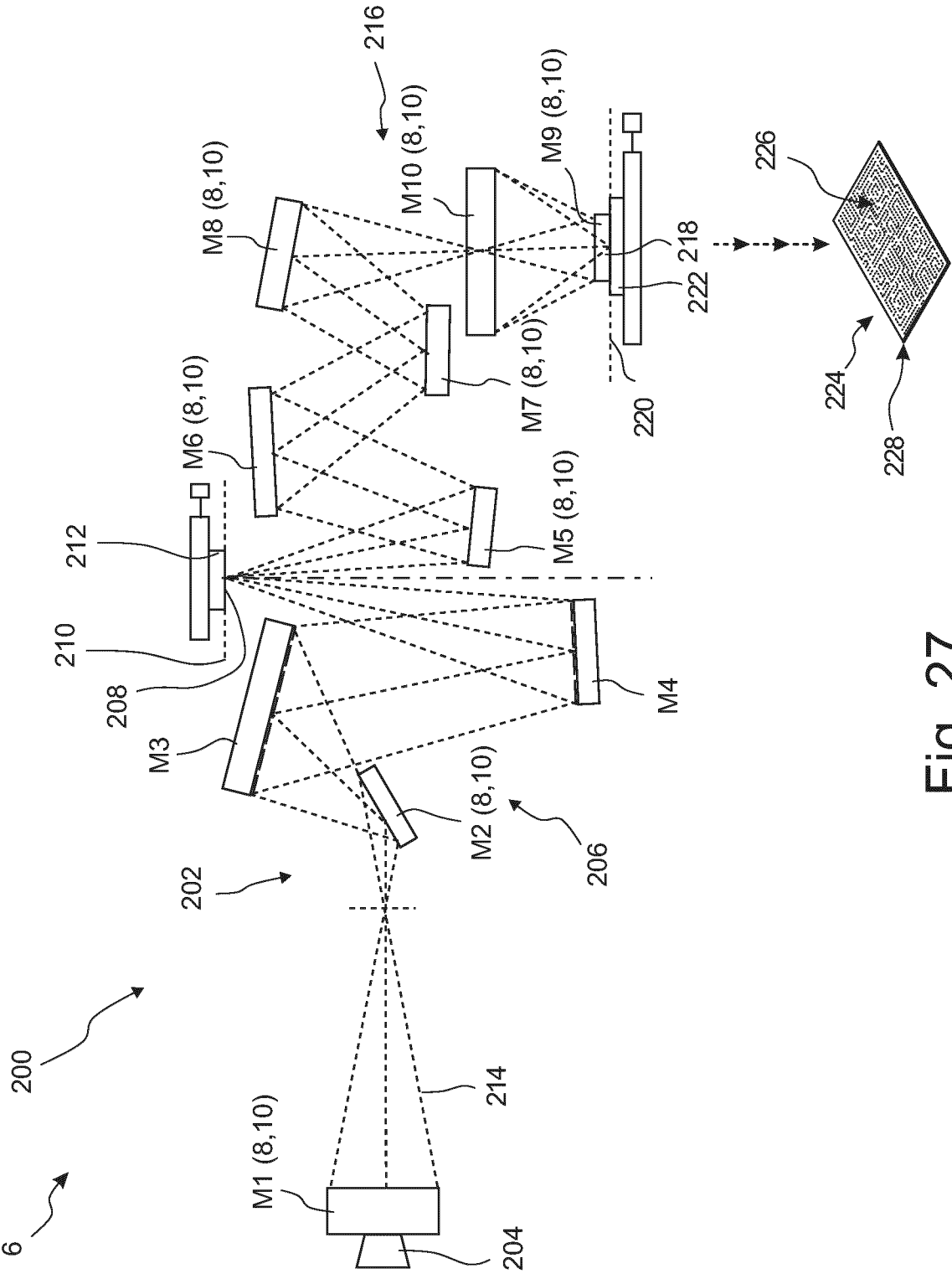


Fig. 27

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2024/065181

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER B23K 26/00 (2014.01)i; B23K 26/142 (2014.01)i; B23K 26/146 (2014.01)i; B23K 26/53 (2014.01)i; B23K 26/55 (2014.01)i; G02B 5/08 (2006.01)i; B23K 103/00 (2006.01)n According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) B23K; G02B Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 102019219179 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 10 June 2021 (2021-06-10)	13-30
A	paragraph [0006] - paragraph [0056]; figures 1a-1c	1-12
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex. * Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 15 October 2024		Date of mailing of the international search report 04 November 2024
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands (Kingdom of the) Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer De Backer, Tom Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2024/065181

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
DE	102019219179	A1	10 June 2021	CN	114787092	A	22 July 2022
				DE	102019219179	A1	10 June 2021
				JP	2023505681	A	10 February 2023
				US	2022299731	A1	22 September 2022
				WO	2021115643	A1	17 June 2021

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES					
INV.	B23K26/00	B23K26/142	B23K26/146	B23K26/53	B23K26/55
	G02B5/08				
ADD.	B23K103/00				
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC					
B. RECHERCHIERTE GEBIETE					
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)					
B23K G02B					
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen					
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)					
EPO-Internal					
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN					
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile				Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2019 219179 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 10. Juni 2021 (2021-06-10)				13 - 30
A	Absatz [0006] - Absatz [0056]; Abbildungen 1a-1c				1 - 12

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie					
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist			"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung:: die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung:: die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche			Absendedatum des internationalen Recherchenberichts		
15. Oktober 2024			04/11/2024		
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016			Bevollmächtigter Bediensteter De Backer, Tom		

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2024/065181

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102019219179 A1	10-06-2021	CN 114787092 A	22-07-2022
		DE 102019219179 A1	10-06-2021
		JP 2023505681 A	10-02-2023
		US 2022299731 A1	22-09-2022
		WO 2021115643 A1	17-06-2021
