(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
06. Oktober 2022 (06.10.2022)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2022/207153 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01B 9/02 (2022.01) *G01B 11/24* (2006.01)
G01B 9/02055 (2022.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2022/051958

(22) Internationales Anmeldedatum:
27. Januar 2022 (27.01.2022)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2021 203 123.4
29. März 2021 (29.03.2021) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **CARL ZEISS SMT GMBH** [DE/DE]; Rudolf-Eber-Strasse 2, 73447 Oberkochen (DE).

(72) Erfinder; und

(71) Anmelder *(nur für US)*: **FREIMANN, Rolf** [DE/DE]; Weisse Steige 20, 73431 Aalen (DE).

(74) Anwalt: **FRANK, Hartmut**; BONSMANN · BONSMANN · FRANK Patentanwälte, Reichspräsidentenstraße 21-25, 45470 Mülheim a.d. Ruhr (DE).

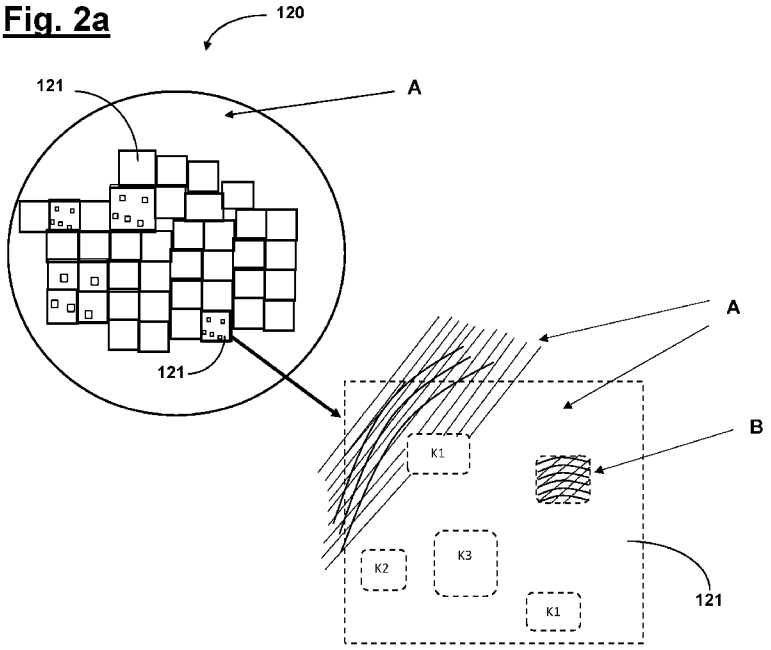
(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA,

WO 2022/207153 A1

(54) **Title:** COMPUTER-GENERATED HOLOGRAM (CGH) AND INTERFEROMETRIC MEASURING ASSEMBLY FOR DETERMINING THE SURFACE SHAPE OF A TEST PIECE

(54) **Bezeichnung:** COMPUTER-GENERIERTES HOLOGRAMM (CGH) SOWIE INTERFEROMETRISCHE MESSANORDNUNG ZUR BESTIMMUNG DER OBERFLÄCHENFORM EINES PRÜFLINGS

Fig. 2a



(57) **Abstract:** The invention relates to a computer-generated hologram (CGH) and to an interferometric measuring assembly for determining the surface shape of a test piece. The test piece may be in particular an optical element of a microlithographic projection exposure apparatus. A computer-generated hologram (CGH) according to the invention, in particular for use in an interferometric measuring assembly for determining the surface shape of a test piece, has a plurality of functional surface elements which each have a complex coding for generation of different output waves, each of these functional surface elements being assigned a coding depth

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

MD, ME, MG, MK, MN, 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, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, 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).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

corresponding to the number of respectively generated output waves, the coding depth being a maximum of four, the functional surface elements differing from one another with regard to the respectively generated output waves, and the functional surface elements (K1, K2, K3,...) being arranged in such a way that an interfering beam (102), which is generated from a beam (101) from a superlattice formed by the functional surface elements (K1, K2, K3,...) in the (+1)th diffraction order and incident on the CGH (120), is reflected on the test piece (140) and on its return path to the CGH (120) is diffracted by the superlattice in the (-1)th order of diffraction, is not parallel to the incident beam (101).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Computer-generiertes Hologramm (CGH) sowie eine interferometrische Messanordnung zur Bestimmung der Oberflächenform eines Prüflings. Bei dem Prüfling kann es sich insbesondere um ein optisches Element einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage handeln. Ein erfindungsgemäßes Computer-generiertes Hologramm (CGH), insbesondere zur Verwendung in einer interferometrischen Messanordnung zur Bestimmung der Oberflächenform eines Prüflings, weist eine Mehrzahl von Funktionsflächenelementen auf, welche jeweils zur Erzeugung unterschiedlicher Ausgangswellen eine komplexe Kodierung aufweisen, wobei jedem dieser Funktionsflächenelemente eine der Anzahl an jeweils erzeugten Ausgangswellen entsprechende Kodierungstiefe zugeordnet ist, wobei die Kodierungstiefe maximal vier beträgt, wobei sich die Funktionsflächenelemente hinsichtlich der jeweils erzeugten Ausgangswellen voneinander unterscheiden, und wobei die Funktionsflächenelemente (K1, K2, K3,...) derart angeordnet sind, dass ein Störstrahl (102), welcher aus einem auf das CGH (120) einfallenden Strahl (101) von einem durch die Funktionsflächenelemente (K1, K2, K3,...) gebildeten Übergitter in der (+1)-ten Beugungsordnung erzeugt wird, am Prüfling (140) reflektiert und auf seinem Rückweg am CGH (120) vom Übergitter in der (-1)-ten Beugungsordnung gebeugt wird, nicht parallel zum einfallenden Strahl (101) verläuft.

Computer-generiertes Hologramm (CGH) sowie interferometrische Messanordnung zur Bestimmung der Oberflächenform eines Prüflings

Die vorliegende Anmeldung beansprucht die Priorität der Deutschen Patentanmeldung DE 10 2021 203 123.4, angemeldet am 29. März 2021. Der Inhalt dieser DE-Anmeldung wird durch Bezugnahme („incorporation by reference") mit in den vorliegenden Anmeldungstext aufgenommen.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Gebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Computer-generiertes Hologramm (CGH) sowie eine interferometrische Messanordnung zur Bestimmung der Oberflächenform eines Prüflings. Bei dem Prüfling kann es sich insbesondere um ein optisches Element einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage handeln.

Stand der Technik

Mikrolithographie wird zur Herstellung mikrostrukturierter Bauelemente, wie beispielsweise integrierter Schaltkreise oder LCD's, angewendet. Der Mikrolithographieprozess wird in einer sogenannten Projektionsbelichtungsanlage durchgeführt, welche eine Beleuchtungseinrichtung und ein Projektionsobjektiv aufweist. Das Bild einer mittels der Beleuchtungseinrichtung beleuchteten Maske (= Retikel) wird hierbei mittels des Projektionsobjektivs auf ein mit einer lichtempfindlichen Schicht (Photoresist) beschichtetes und in der Bildebene des Projektionsobjektivs angeordnetes Substrat (z.B. ein Siliziumwafer) projiziert, um

die Maskenstruktur auf die lichtempfindliche Beschichtung des Substrats zu übertragen.

In für den EUV-Bereich ausgelegten Projektionsobjektiven, d.h. bei Wellenlängen von z.B. etwa 13 nm oder etwa 7 nm, werden mangels Verfügbarkeit geeigneter lichtdurchlässiger refraktiver Materialien Spiegel als optische Komponenten für den Abbildungsprozess verwendet. Typische für EUV ausgelegte Projektionsobjektive, wie z.B. aus US 2016/0085061 A1 bekannt, können beispielsweise eine bildseitige numerische Apertur (NA) im Bereich von NA = 0.55 aufweisen und bilden ein (z.B. ringsegmentförmiges) Objektfeld in die Bildebene bzw. Waferebene ab. Mit der Erhöhung der bildseitigen numerischen Apertur (NA) geht typischerweise eine Vergrößerung der erforderlichen Spiegelflächen der in der Projektionsbelichtungsanlage eingesetzten Spiegel einher. Dies hat wiederum zur Folge, dass neben der Fertigung auch die Prüfung der Oberflächenform der Spiegel eine anspruchsvolle Herausforderung darstellt.

Hierbei kommen zur hochgenauen Prüfung der Spiegel insbesondere interferometrische Messverfahren unter Verwendung Computer-generierter Hologramme (CGH) zum Einsatz. Dabei basiert die Bestimmung der Oberflächenform des jeweiligen Spiegels bzw. Prüflings auf einer interferometrischen Überlagerung einer von dem CGH erzeugten Prüfwelle mit an die Soll-Form der Oberfläche des Prüflings angepasster Wellenfront und einer Referenzwelle.

Dabei ist es weiter bekannt, eine Kalibrierung zur Berücksichtigung von durch die Messanordnung bzw. das CGH bewirkten Wellenfrontfehlern durchzuführen. Bekannte Ansätze hierzu beinhalten z.B. den Einsatz zusätzlicher Kalibrierspiegel in Kombination mit einer Erzeugung entsprechender, zusätzlicher Kalibrierwellen durch das CGH. Hierzu kann das CGH eine komplexe Kodierung in Form einander überlagernder diffraktiver Strukturmuster zur Erzeugung der Prüfwelle, der Referenzwelle sowie der Kalibrierwellen aufweisen.

Des Weiteren ist es im Stand der Technik bekannt, zur Steigerung der Genauigkeit bei der interferometrischen Vermessung nicht-rotationssymmetrischer

Oberflächen eine interferometrische Messung in einer Mehrzahl unterschiedlicher Drehstellungen oder Drehschiebestellungen des jeweiligen Prüflings durchzuführen.

Wenngleich die vorstehend genannten Ansätze grundsätzlich auch bei der Vermessung von Freiformflächen anwendbar sind, stellt in der Praxis die Erfüllung steigender Genauigkeitsanforderungen insbesondere unter Berücksichtigung räumlich hochfrequenter Passefehler (mit Ortswellenlängen kleiner als 30mm, insbesondere kleiner 10mm) eine zunehmend anspruchsvolle Herausforderung dar. Ein weiteres, in der Praxis auftretendes fertigungstechnisches Problem ist, dass die hohe Kodierungstiefe (typischerweise Fünffach-Kodierung) eines Computer-generierten Hologramms hohe Schreibzeiten erfordert. Zudem erweist sich bei hoher Kodierungstiefe des CGH die zur Berücksichtigung rigoroser Effekte (d.h. der Auswirkung der dreidimensionalen Struktur des CGH auf dessen Beugungswirkung) erforderliche Lösung der Maxwell-Gleichungen als entsprechend schwierig und aufwendig.

Zum Stand der Technik wird lediglich beispielhaft auf DE 10 2015 209 490, US 7,602,502 B2 und DE 100 58 650 A1 verwiesen.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Vor dem obigen Hintergrund ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Computer-generiertes Hologramm (CGH) sowie eine interferometrische Messanordnung zur Bestimmung der Oberflächenform eines Prüflings bereitzustellen, welche eine Vermessung von Freiformflächen mit erhöhter Genauigkeit insbesondere im Hinblick auf eine Berücksichtigung räumlich hochfrequenter Passefehler ermöglichen.

Diese Aufgabe wird durch das Computer-generierte Hologramm (CGH) gemäß den Merkmalen des unabhängigen Patentanspruchs 1 bzw. die

interferometrische Messanordnung gemäß den Merkmalen des nebengeordneten Patentanspruchs 8 gelöst.

Ein Computer-generiertes Hologramm (CGH), insbesondere zur Verwendung in einer interferometrischen Messanordnung zur Bestimmung der Oberflächenform eines Prüflings, weist auf:

- einer Mehrzahl von Funktionsflächenelementen, welche jeweils zur Erzeugung unterschiedlicher Ausgangswellen eine komplexe Kodierung aufweisen, wobei jedem dieser Funktionsflächenelemente eine der Anzahl an jeweils erzeugten Ausgangswellen entsprechende Kodierungstiefe zugeordnet ist;
- wobei die Kodierungstiefe maximal vier beträgt;
- wobei sich die Funktionsflächenelemente hinsichtlich der jeweils erzeugten Ausgangswellen voneinander unterscheiden; und
- wobei die Funktionsflächenelemente derart angeordnet, dass ein Störstrahl, welcher aus einem auf das CGH einfallenden Strahl von einem durch die Funktionsflächenelemente gebildeten Übergitter in der (+1)-ten Beugungsordnung erzeugt wird, am Prüfling reflektiert und auf seinem Rückweg am CGH vom Übergitter in der (-1)-ten Beugungsordnung gebeugt wird, nicht parallel zum einfallenden Strahl verläuft.

Der Erfindung liegt insbesondere das Konzept zugrunde, ein zur Verwendung in einer interferometrischen Messanordnung bestimmtes CGH mit einer reduzierten Kodierungstiefe auszugestalten und hierzu das CGH in eine Mehrzahl von Funktionsflächenelemente bildenden Teilbereichen (engl.: „patches“) zu unterteilen, wobei sich diese Funktionsflächenelemente bzw. Teilbereiche hinsichtlich der durch ihre komplexe Kodierung jeweils erzeugten Ausgangswellen voneinander unterscheiden.

Infolge der erfindungsgemäßen Ausgestaltung ist das in dieser Weise ausgestaltete CGH insgesamt zur Bereitstellung der in den eingangs beschriebenen Ansätzen erforderlichen Funktionalitäten geeignet, wobei zugleich die

Reduzierung der Kodierungstiefe mit signifikanten Vorteilen nicht nur in fertigungstechnischer Hinsicht (infolge reduzierter Schreibzeiten) einhergeht, sondern auch höhere Genauigkeiten bei der Messung räumlich hochfrequenter Passefehler (infolge Reduzierung der Anzahl und Auswirkung störender Beugungsordnungen) erzielt werden.

Gemäß einer Ausführungsform beträgt die Kodierungstiefe maximal drei, insbesondere zwei.

Der Erfindung liegt die weitere Überlegung zugrunde, dass die vorstehend beschriebene Ausgestaltung des CGH mit einer Mehrzahl von Funktionsflächenelementen bzw. Teilbereichen zur Entstehung eines Übergitters führt, welches ohne geeignete Gegenmaßnahmen – wie im Weiteren noch detaillierter beschrieben – entsprechende Fehlerbeiträge zur Folge hat. So kann ein an besagtem Übergitter in der (+1)-ten Beugungsordnung durch Beugung erzeugter Störstrahl nach Reflexion am Prüfling und Rückkehr zum CGH durch Beugung am CGH in der (-1)-ten Beugungsordnung wiederum parallel zum auf das CGH einfallenden Strahl gelenkt werden und so schließlich ebenfalls zur Interferometerkamera gelangen, wo der Störstrahl dann einen entsprechenden Fehlerbeitrag liefert.

Diesem Umstand kann erfindungsgemäß dadurch Rechnung getragen werden, dass über eine geeignete räumlichen Anordnung der erfindungsgemäßen Funktionsflächenelemente bzw. Teilbereiche ein zum auf das CGH einfallenden Strahl paralleler Verlauf des Störstrahls verhindert wird. In Ausführungsformen der Erfindung wird dies dadurch erreicht, dass die Übergitterstruktur des durch die Funktionsflächenelemente gebildeten Übergitters am Durchtrittsort dieses Störstrahls am CGH auf seinem Rückweg vom Prüfling relativ zu der Übergitterstruktur, die am Durchtrittsort des Störstrahls am CGH auf seinem Hinweg zum Prüfling vorliegt, verdreht ist. Diese Verdrehung kann insbesondere um einen Verdrehwinkel von betragsmäßig wenigstens 30°, insbesondere von betragsmäßig wenigstens 45°, weiter insbesondere von betragsmäßig 90° erfolgen.

Gemäß einer Ausführungsform sind zur Erzielung des vorstehend beschriebenen Effekts die in radialer Richtung nach außen aufeinanderfolgend angeordnete Funktionsflächenelemente auf dem CGH relativ zueinander verdreht.

Gemäß einer anderen Ausführungsform wird der vorstehend beschriebene Effekt dadurch erzielt, dass die Flächenbelegungsdichte der Funktionsflächenelemente in radialer Richtung nach außen variiert.

Gemäß einer Ausführungsform weist das CGH auf einem CGH-Substrat befindliche CGH-Strukturen auf, wobei diese CGH-Strukturen jeweils wenigstens eine unter einem von 90° verschiedenen Flankenwinkel zum CGH-Substrat verlaufende Flanke besitzen. Hierdurch können rigorose Effekte aufgrund von in der Ebene der CGH-Struktur erfolgender Vorwärts- und Rückwärtsstreuung vermieden werden.

Die Erfindung betrifft weiter auch eine interferometrische Messanordnung zur Bestimmung der Oberflächenform eines Prüflings, insbesondere eines optischen Elements einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, wobei die Messanordnung ein Computer-generiertes Hologramm (CGH) aufweist und wobei eine Bestimmung der Oberflächenform zumindest einer Teilfläche des Prüflings durch interferometrische Überlagerung einer von diesem CGH auf den Prüfling gelenkten Prüfwelle und einer Referenzwelle durchführbar ist, wobei das CGH mit den vorstehend beschriebenen Merkmalen ausgelegt ist.

Gemäß einer Ausführungsform erzeugt jedes der Funktionsflächenelemente eine Referenzwelle.

Gemäß einer Ausführungsform erzeugt jedes der Funktionsflächenelemente zusätzlich zu der Referenzwelle entweder eine Prüfwelle oder eine Kalibrierwelle. Das CGH kann insbesondere auch zur Erzeugung einer Mehrzahl von Kalibrierwellen, welche auf unterschiedliche Kalibrierflächen gelenkt werden,

ausgestaltet sein. Dabei können unterschiedliche Kalibrierwellen durch unterschiedliche Funktionsflächenelemente erzeugt werden.

Gemäß einer Ausführungsform weist die interferometrische Messanordnung einen von einer zur Erzeugung elektromagnetischer Strahlung dienenden Lichtquelle zum CGH führenden Beleuchtungsstrahlengang auf, wobei in diesem Beleuchtungsstrahlengang eine Einheit zur Variation des Einfallswinkels der elektromagnetischen Strahlung beim Einfall auf dem CGH angeordnet ist. Diese Einheit kann insbesondere wenigstens einen kippbar angeordneten Spiegel aufweisen.

Gemäß einer Ausführungsform ist durch diese Variation des Einfallswinkels eine Umstellung zwischen einem Prüfstrahlengang, in welchem von dem CGH eine Prüfwelle auf den Prüfling gelenkt wird, und einem Kalibrierstrahlengang, in welchem von dem CGH eine Kalibrierwelle auf eine Kalibrierfläche gelenkt wird, durchführbar.

Die Erfindung betrifft weiter auch ein Verfahren zur Bestimmung der Oberflächenform eines Prüflings, insbesondere eines optischen Elements einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:

- Durchführen wenigstens einer Interferogramm-Messreihe an dem Prüfling durch Überlagerung jeweils einer durch Beugung elektromagnetischer Strahlung an einem Computer-generierten Hologramm (CGH) erzeugten und an dem Prüfling reflektierten Prüfwelle mit einer nicht an dem Prüfling reflektierten Referenzwelle; und
- Bestimmen der Oberflächenform des Prüflings basierend auf der durchgeführten Interferogramm-Messreihe;

wobei das Verfahren unter Verwendung eines CGH mit den vorstehend beschriebenen Merkmalen oder unter Verwendung einer interferometrischen Messanordnung mit den vorstehend beschriebenen Merkmalen durchgeführt wird.

Gemäß einer Ausführungsform wird eine Mehrzahl solcher Interferogramm-Messreihen durchgeführt, welche sich hinsichtlich einer Drehstellung oder Dreh-Schiebestellung des Prüflings voneinander unterscheiden.

Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind der Beschreibung sowie den Unteransprüchen zu entnehmen.

Die Erfindung wird nachstehend anhand von in den beigefügten Abbildungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung eines möglichen Aufbaus einer interferometrischen Messanordnung;

Figur 2a-2c schematische Darstellungen zur Erläuterung von Aufbau und Funktionsweise eines CGH in einer beispielhaften Ausführungsform der Erfindung;

Figur 3a-3b schematische Darstellungen zur Erläuterung von Aufbau und Funktionsweise eines CGH in einer weiteren Ausführungsform der Erfindung;

Figur 4-7 schematische Darstellungen zur Erläuterung weiterer Ausführungsformen eines erfindungsgemäßen CGH;

Figur 8a-8c schematische Darstellungen zur Erläuterung einer möglichen weiteren Anwendung eines erfindungsgemäßen CGH; und

Figur 9 eine schematische Darstellung einer für den Betrieb im EUV ausgelegten Projektionsbelichtungsanlage.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG BEVORZUGTER AUSFÜHRUNGSFORMEN

Fig. 9 zeigt zunächst eine schematische Darstellung einer beispielhaften für den Betrieb im EUV ausgelegten Projektionsbelichtungsanlage, welche mit einem erfindungsgemäßen Verfahren prüfbare Spiegel aufweist.

Gemäß Fig. 9 weist eine Beleuchtungseinrichtung in einer für EUV ausgelegten Projektionsbelichtungsanlage 910 einen Feldfacettenspiegel 903 und einen Pupillenfacettenspiegel 904 auf. Auf den Feldfacettenspiegel 903 wird das Licht einer Lichtquelleneinheit, welche eine Plasmalichtquelle 901 und einen Kollektorspiegel 902 umfasst, gelenkt. Im Lichtweg nach dem Pupillenfacettenspiegel 904 sind ein erster Teleskopspiegel 905 und ein zweiter Teleskopspiegel 906 angeordnet. Im Lichtweg nachfolgend ist ein Umlenkspiegel 907 angeordnet, der die auf ihn treffende Strahlung auf ein Objektfeld in der Objektebene eines sechs Spiegel 921-926 umfassenden Projektionsobjektivs lenkt. Am Ort des Objektfeldes ist eine reflektive strukturtragende Maske 931 auf einem Maskentisch 930 angeordnet, die mit Hilfe des Projektionsobjektivs in eine Bildebene abgebildet wird, in welcher sich ein mit einer lichtempfindlichen Schicht (Photoresist) beschichtetes Substrat 941 auf einem Wafertisch 940 befindet.

Fig. 1 zeigt zunächst eine schematische Darstellung zur Erläuterung des möglichen Aufbaus einer interferometrischen Messanordnung, in welcher ein erfindungsgemäßes CGH zwecks Bestimmung der Oberflächenform eines Prüflings (insbesondere eines optischen Elements für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage, z.B. eines der Spiegel der Projektionsbelichtungsanlage 910 von Fig. 9) einsetzbar ist.

Gemäß Fig. 1 verläuft eine mit „105“ bezeichnete Eingangswelle, welche von einer nicht dargestellten Lichtquelle erzeugt und über einen Lichtwellenleiter zugeführt wird, über einen Strahlteiler 110 zu einem CGH 120. Die Messanordnung gemäß Fig. 1 weist dabei zur Variation des Einfallswinkels der elektromagnetischen Strahlung beim Einfall auf dem CGH 120 einen kippbar angeordneten Spiegel 103 auf, auf den im Weiteren noch näher eingegangen wird.

Das CGH 120 erzeugt in Transmission durch Beugung an einem der auf dem CGH 120 vorhandenen diffraktiven Strukturmuster aus der Eingangswelle 105 eine auf die Oberfläche 141 des Prüflings 140 gerichtete Prüfwelle 125 mit einer an die Soll-Form der Oberfläche 141 angepassten Wellenfront. Bei dieser Transformation wird die Wellenfront derart angepasst, dass die Prüfwelle an jedem Ort der Oberfläche 141 in Soll-Form senkrecht auftrifft und in sich zurückreflektiert wird.

Des Weiteren erzeugt das CGH 120 in Transmission durch Beugung an einem anderen seiner diffraktiven Strukturmuster aus der Eingangswelle eine auf ein weiteres reflektives Element in Form eines Referenzspiegels 131 gerichtete Referenzwelle 126, die von diesem Referenzspiegel 131 in sich zurückreflektiert wird. Sowohl die am Prüfling 140 reflektierte Prüfwelle 125 als auch die am Referenzspiegel 131 reflektierte Referenzwelle 126 gelangen zurück zum CGH 120, werden dort jeweils wiederum gebeugt und verlaufen zurück zum Strahlteiler 110, von welchem sie reflektiert werden, so dass sie über ein Okular 150 auf eine Interferometerkamera 160 treffen und dort einander zur Erzeugung eines Interferogramms überlagern. Aus dem so erfassten Interferogramm wird über eine nicht dargestellte Auswerteeinrichtung die tatsächliche Form der Oberfläche 141 des Prüflings 140 bestimmt.

Bei dieser Bestimmung der Oberflächenform berücksichtigt die Auswerteeinrichtung insbesondere das Ergebnis einer Kalibrierung. Eine mögliche Realisierung einer solchen Kalibrierung beinhaltet den Einsatz zusätzlicher Kalibrierspiegel in Kombination mit einer Erzeugung entsprechender, zusätzlicher Kalibrierwellen durch das CGH 120. Hinsichtlich einer solchen, für sich bekannten Kalibrierung

wird beispielhaft auf DE 10 2015 209 490 A1 und die dort beschriebenen Ausführungsbeispiele verwiesen.

Das erfindungsgemäße CGH 120 weist zur Erzeugung der Prüfwelle, der Referenzwelle sowie der Kalibrierwellen eine komplexe Kodierung in Form einander überlagernder diffraktiver Strukturmuster auf. Den im Weiteren beschriebenen Ausführungsformen für ein solches komplex kodiertes CGH 120 ist hierbei gemeinsam, dass das CGH in eine Mehrzahl von Teilbereichen in Form von Funktionsflächenelementen unterteilt ist, deren jeweilige Kodierungstiefe (welche der durch den betreffenden Teilbereich bzw. das jeweilige Funktionsflächenelement erzeugten Anzahl von Ausgangswellen entspricht) auf maximal vier (insbesondere maximal drei, weiter insbesondere zwei) begrenzt ist. Um gleichwohl durch das CGH insgesamt die erforderlichen Ausgangswellen (d.h. Prüfwelle, Referenzwelle sowie Kalibrierwellen) zu erzeugen, unterscheiden sich erfindungsgemäß die einzelnen Teilbereiche bzw. Funktionsflächenelemente hinsichtlich der jeweils erzeugten Ausgangswellen voneinander. So kann beispielsweise eines der Funktionsflächenelemente zusätzlich zur Referenzwelle die Prüfwelle erzeugen, ein weiteres Funktionsflächenelement zusätzlich zur Referenzwelle die einem ersten Kalibrierspiegel entsprechende Kalibrierwelle, ein weiteres Funktionsflächenelement zusätzlich zur Referenzwelle die einem zweiten Kalibrierspiegel entsprechende Kalibrierwelle etc. Zur ordnungsgemäßen Erzeugung des Interferogramms ist dabei erforderlich, dass jedes der Funktionsflächenelemente eine Referenzwelle erzeugt.

Im Weiteren wird zunächst eine erste mögliche Ausführungsform eines erfindungsgemäßen CGH unter Bezugnahme auf die schematische Darstellung von Fig. 2a beschrieben. In Fig. 2a sind mit „121“ Kamerapixelabbilder, vorliegend lediglich gedachte Kamerapixelabbilder, der Interferometerkamera 160 eingezeichnet. Innerhalb dieser Kamerapixelabbilder 121, von denen eines in Fig. 2a rechts unten vergrößert dargestellt ist, befinden sich wiederum die vorstehend beschriebenen Funktionsflächenelemente K1, K2, ... Die diffraktive Struktur zur Erzeugung der Referenzwelle ist flächenhaft im CGH 120 eingeschrieben. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass die Messanordnung gemäß Fig.

1 zur Variation des Einfallswinkels der elektromagnetischen Strahlung beim Einfall auf dem CGH 120 einen kippbar angeordneten Spiegel 103 aufweist, über welchen eine Umstellung zwischen einem Prüfstrahlengang, in welchem von dem CGH 120 eine Prüfwelle auf den Prüfling 140 gelenkt wird, und einem Kalibrierstrahlengang, in welchem von dem CGH 120 eine Kalibrierwelle auf eine Kalibrierfläche bzw. einen Kalibrierspiegel gelenkt wird, durchführbar ist.

Das CGH 120 gemäß Fig. 2a weist eine solche komplexe Kodierung auf, dass für eine erste Kippwinkeleinstellung des kippbaren Spiegels 103 in dem mit „A“ bezeichneten Bereich außerhalb der Funktionsflächenelemente die (auf den Referenzspiegel 131 gelenkte) Referenzwelle sowie zusätzlich die auf den Prüfling 140 gelenkte Prüfwelle erzeugt wird (vgl. Fig. 2b). Innerhalb der Funktionsflächenelemente (d.h. z.B. dem mit „B“ bezeichneten Bereich) wird hingegen die Referenzwelle bei Einstellung eines zweiten Kippwinkels des kippbaren Spiegels 103 erzeugt, wobei in diesem Falle zusätzlich zur Referenzwelle anstelle der Prüfwelle wenigstens eine auf einen Kalibrierspiegel gelenkte Kalibrierwelle erzeugt wird (vgl. Fig. 2c, in welcher der Kalibrierspiegel mit „170“ bezeichnet ist). Mit „180“ ist in Fig. 2b und 2c jeweils das Interferometer angedeutet.

Fig. 3a-3b zeigen schematische Darstellungen zur Erläuterung einer weiteren Ausgestaltung eines erfindungsgemäßen CGH. In dieser Ausführungsform wird dem Umstand Rechnung getragen, dass durch die erfindungsgemäß auf dem CGH bereitgestellten Funktionsflächenelemente bzw. Teilbereiche ein Übergitter gebildet wird, welches ohne entsprechende Gegenmaßnahmen dazu führt, dass ein an besagtem Übergitter in der (+1)-ten Beugungsordnung durch Beugung erzeugter Störstrahl nach Reflexion am Prüfling, Rückkehr zum CGH und Beugung in der (-1)-ten Beugungsordnung wiederum parallel zum auf das CGH einfallenden Strahl verläuft und schließlich zur Interferometerkamera gelangt. Zur Vermeidung solcher Störstrahlen und entsprechender Fehlerbeiträge wird das CGH in der Ausführungsform von Fig. 3a-3b sowie auch den weiteren Ausführungsformen gemäß Fig. 4 und Fig. 5 derart ausgestaltet, dass besagtes Übergitter für den vorstehend beschriebenen Störstrahl bei dessen Rückweg

vom Prüfling relativ zur Übergitterstruktur, welcher der Störstrahl am CGH auf seinem Hinweg zum Prüfling „sieht“, verdreht ist.

Die hierdurch erzielte Wirkung ist in Fig. 3a veranschaulicht, wobei Fig. 3b einen vergrößerten Ausschnitt zeigt. Mit „321“ und „322“ sind jeweils (gedachte) Abbilder von Kamerapixeln der Interferometerkamera 160 auf dem CGH 120 dargestellt. Aus Fig. 3a ist ersichtlich, wie die vorstehend beschriebene Beugung des mit „101“ bezeichneten Nutzlichtstrahls am Übergitter auf dem CGH 120 in der (+1)-ten Beugungsordnung zur Erzeugung eines seitlich weggebeugten Störstrahls 102 führt, welcher ebenfalls am Prüfling 140 (jedoch mit nicht-senkrechter Inzidenz) reflektiert wird. Bei Rückkehr dieses am Prüfling 140 reflektierten Störstrahls 102 zum CGH 120 führt die Beugung in der (-1)-ten Beugungsordnung am Übergitter infolge der vorstehend beschriebenen und aus der vergrößerten Darstellung von Fig. 3b ersichtlichen Verdrehung der Übergitterstruktur dazu, dass besagter Störstrahl 102 nicht wieder parallel zum einfallenden Strahl bzw. Nutzlichtstrahl 101 zur Interferometerkamera 160 gelenkt wird, sondern vielmehr seitlich weggebeugt wird und infolgedessen keinen Fehlerbeitrag mehr liefern kann.

Die Realisierung der vorstehend beschriebenen Verdrehung zwecks Ermöglichung einer Ausblendung von durch Beugung am Übergitter erzeugten Störstrahlen kann in unterschiedlicher Weise erfolgen. So kann gemäß Fig. 4 besagte Verdrehung dadurch erreicht werden, dass in radialer Richtung nach außen aufeinanderfolgend angeordnete Funktionsflächenelemente auf dem CGH 420 relativ zueinander verdreht sind. Fig. 5 zeigt eine weitere mögliche Realisierung, in welcher stattdessen die Flächenbelegungsdichte der Funktionsflächenelemente in radialer Richtung nach außen variiert (im konkreten Ausführungsbeispiel erhöht) wird.

Fig. 6a-6b zeigen schematische Darstellungen zur Erläuterung möglicher Ausführungsformen eines erfindungsgemäßen CGH hinsichtlich der Ausbildung der auf dem jeweiligen CGH-Substrat vorhandenen diffraktiven Strukturen. Dabei können insbesondere gemäß Fig. 6b bei einem CGH 625 die Flankenwinkel

besagter diffraktiver Strukturen 627 schräg (d.h. mit einem von 90° abweichenden Winkel relativ zum CGH-Substrat 626) ausgebildet sein. Diese Ausgestaltung ist im Vergleich zu der in Fig. 6a schematisch dargestellten Ausgestaltung mit senkrechter Ausbildung der CGH-Strukturen 622 zum CGH-Substrat 621 insofern vorteilhaft, als rigorose Effekte, welche durch Vorwärts- und Rückwärtsstreuung in der Ebene der jeweiligen CGH-Struktur entstehen, vermieden werden können.

Fig. 7 zeigt eine schematische Darstellung zur Erläuterung des möglichen Aufbaus eines erfindungsgemäßen CGHs in einer weiteren Ausführungsform. Gemäß Fig. 7 sind mit „721“ wiederum (gedachte) Abbilder von Kamerapixeln der Interferometerkamera auf dem CGH 720 dargestellt. Mit „721e“ ist eine einheitlich und flächig über das CGH 720 hinweg vorgesehene diffraktive Struktur zur Erzeugung der Referenzwelle bezeichnet. Im unteren Teil von Fig. 7 ist eines der Abbilder von Kamerapixeln 721 vergrößert dargestellt. In diesem Kamerapixel-Abbild befinden sich in unterschiedlicher Weise komplex kodierte Funktionsflächenelemente 721a-721d (entsprechend den vier Quadranten des Kamerapixel-Abbildes), von denen drei Funktionsflächenelemente 721a, 721b und 721c jeweils zusätzlich zur Referenzwelle eine weitere Ausgangswelle in Form einer Prüfwelle erzeugen, also jeweils eine Kodierungstiefe von Zwei besitzen. Die von den Funktionsflächenelementen 721a-721c jeweils erzeugten Prüfwellen unterscheiden sich dabei insofern voneinander, als sie unterschiedlichen Drehstellungen bzw. Dreh-Schiebestellungen des Prüflings entsprechen. Hierzu ist der Prüfling in unterschiedlichen Drehstellungen bzw. unterschiedlichen Dreh-Schiebestellungen innerhalb der entsprechenden interferometrischen Messanordnung verstellbar, wodurch ein für sich aus US 7,602,502 B2, DE 100 58 650 A1 sowie der Publikation R. Freimann at al.: „*Absolute measurement of non-comatic aspheric surface errors*“, Optics Communication, 161, 106-114, 1999 bekanntes Drehmittelungsverfahren realisierbar ist.

Fig. 8a und Fig. 8b zeigen in schematischer Darstellung entsprechend unterschiedliche Dreh-Schiebestellungen des Prüflings in der interferometrischen Messanordnung, gemäß denen unterschiedliche Phasenfunktionen eines CGH

820 wirksam werden. Vorzugsweise erfolgt die Prüflingsdrehung um eine senkrechte Achse zwecks Vermeidung von Deformationen. In weiteren Ausführungsformen kann auch eine Prüflingsverschiebung oder die Kombination aus einer Drehung und Verschiebung erfolgen. Des Weiteren erfolgt vorzugsweise in einer Dreh-Schiebestellung die Anordnung bzw. Prüfung des Prüflings in der tatsächlichen Gebrauchsstellung. Mit „880“ ist in Fig. 8a das Interferometer angedeutet.

Unter erneuter Bezugnahme auf Fig. 7 ist im Ausführungsbeispiel des CGH 720 das Funktionsflächenelement 721d (welches sich im vierten Quadranten des vergrößert dargestellten Kamerapixel-Abbildes befindet) derart ausgestaltet, dass zusätzlich zu der Referenzwelle wenigstens eine Kalibrierwelle, insbesondere bis zu drei Kalibrierwellen, als Ausgangswelle erzeugt werden. Fig. 8c zeigt in wiederum schematischer Darstellung das zugehörige Szenario im Betrieb der interferometrischen Messanordnung, in welchem die entsprechende, vom CGH 820 ausgehende Kalibrierwelle auf eine mit „870“ bezeichnete Kalibrierfläche gelenkt wird. Die Kalibrierfläche kann je nach Ausgestaltung des CGH bzw. der erzeugten Kalibrierwelle plan, sphärisch, astigmatisch oder toroidisch ausgestaltet sein.

Wenn die Erfindung auch anhand spezieller Ausführungsformen beschrieben wurde, erschließen sich für den Fachmann zahlreiche Variationen und alternative Ausführungsformen, z.B. durch Kombination und/oder Austausch von Merkmalen einzelner Ausführungsformen. Dementsprechend versteht es sich für den Fachmann, dass derartige Variationen und alternative Ausführungsformen von der vorliegenden Erfindung mit umfasst sind und die Reichweite der Erfindung nur im Sinne der beigefügten Patentansprüche und deren Äquivalente beschränkt ist.

Patentansprüche

1. Computer-generiertes Hologramm (CGH), insbesondere zur Verwendung in einer interferometrischen Messanordnung zur Bestimmung der Oberflächenform eines Prüflings, mit:

   - einer Mehrzahl von Funktionsflächenelementen (K1, K2, K3, ...), welche jeweils zur Erzeugung unterschiedlicher Ausgangswellen eine komplexe Kodierung aufweisen, wobei jedem dieser Funktionsflächenelemente (K1, K2, K3, ...) eine der Anzahl an jeweils erzeugten Ausgangswellen entsprechende Kodierungstiefe zugeordnet ist;
   - wobei die Kodierungstiefe maximal vier beträgt;
   - wobei sich die Funktionsflächenelemente (K1, K2, K3, ...) hinsichtlich der jeweils erzeugten Ausgangswellen voneinander unterscheiden; und
   - wobei die Funktionsflächenelemente (K1, K2, K3, ...) derart angeordnet sind, dass ein Störstrahl (102), welcher aus einem auf das CGH (120) einfallenden Strahl (101) von einem durch die Funktionsflächenelemente (K1, K2, K3, ...) gebildeten Übergitter in der (+1)-ten Beugungsordnung erzeugt wird, am Prüfling (140) reflektiert und auf seinem Rückweg am CGH (120) vom Übergitter in der (-1)-ten Beugungsordnung gebeugt wird, nicht parallel zum einfallenden Strahl (101) verläuft.

2. Computer-generiertes Hologramm (CGH) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Kodierungstiefe maximal drei, insbesondere zwei beträgt.

3. Computer-generiertes Hologramm (CGH) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Übergitterstruktur des durch die Funktionsflächenelemente (K1, K2, K3, ...) gebildeten Übergitters am Durchtrittsort dieses Störstrahls (102) am CGH (120) auf seinem Rückweg vom Prüfling

(140), relativ zu der Übergitterstruktur am Durchtrittsort des Störstrahls (102) am CGH (120) auf seinem Hinweg zum Prüfling (140), verdreht ist.

4. Computer-generiertes Hologramm (CGH) nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass diese Verdrehung um einen Verdrehwinkel von betragsmäßig wenigstens 30°, insbesondere von betragsmäßig wenigstens 45°, weiter insbesondere von betragsmäßig 90° erfolgt.

5. Computer-generiertes Hologramm (CGH) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass in radialer Richtung nach außen aufeinanderfolgend angeordnete Funktionsflächenelemente (K1, K2, K3, ...) auf dem CGH (420) relativ zueinander verdreht sind.

6. Computer-generiertes Hologramm (CGH) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Funktionsflächenelemente (K1, K2, K3, ...) auf dem CGH (520) mit einer Flächenbelegungsdichte angeordnet sind, welche in radialer Richtung nach außen variiert.

7. Computer-generiertes Hologramm (CGH) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das CGH (625) auf einem CGH-Substrat (626) befindliche CGH-Strukturen (627) aufweist, wobei diese CGH-Strukturen (627) jeweils wenigstens eine unter einem von 90° verschiedenen Flankenwinkel zum CGH-Substrat (626) verlaufende Flanke besitzen.

8. Interferometrische Messanordnung zur Bestimmung der Oberflächenform eines Prüflings, insbesondere eines optischen Elements einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, wobei die Messanordnung ein Computer-generiertes Hologramm (CGH) aufweist und wobei eine Bestimmung der Oberflächenform zumindest einer Teilfläche des Prüflings (140) durch interferometrische Überlagerung einer von diesem CGH (120, 420, 520) auf den Prüfling (140) gelenkten Prüfwelle und einer Referenzwelle durchführbar ist,

dadurch gekennzeichnet, dass

das CGH nach einem der vorhergehenden Ansprüche ausgelegt ist.

9. Interferometrische Messanordnung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass jedes der Funktionsflächenelemente (K1, K2, K3, ...) eine Referenzwelle erzeugt.

10. Interferometrische Messanordnung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass jedes der Funktionsflächenelemente (K1, K2, K3, ...) zusätzlich zu der Referenzwelle entweder eine Prüfwelle oder eine Kalibrierwelle erzeugt.

11. Interferometrische Messanordnung nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das CGH (120, 420, 520) zur Erzeugung einer Mehrzahl von Kalibrierwellen, welche auf unterschiedliche Kalibrierflächen gelenkt werden, ausgestaltet ist.

12. Interferometrische Messanordnung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass unterschiedliche Kalibrierwellen durch unterschiedliche Funktionsflächenelemente (K1, K2, K3, ...) erzeugt werden.

13. Interferometrische Messanordnung nach einem der Ansprüche 8 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass diese einen von einer zur Erzeugung elektromagnetischer Strahlung dienenden Lichtquelle zum CGH führenden Beleuchtungsstrahlengang aufweist, wobei in diesem Beleuchtungsstrahlengang eine Einheit zur Variation des Einfallswinkels der elektromagnetischen Strahlung beim Einfall auf dem CGH angeordnet ist.

14. Interferometrische Messanordnung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass diese Einheit wenigstens einen kippbar angeordneten Spiegel (103) aufweist.

15. Interferometrische Messanordnung nach Anspruch 13 oder 14, dadurch

gekennzeichnet, dass durch diese Variation des Einfallswinkels eine Umstellung zwischen einem Prüfstrahlengang, in welchem von dem CGH (120, 420, 520) eine Prüfwelle auf den Prüfling (140) gelenkt wird, und einem Kalibrierstrahlengang, in welchem von dem CGH (120, 420, 520) eine Kalibrierwelle auf eine Kalibrierfläche (170) gelenkt wird, durchführbar ist.

16. Verfahren zur Bestimmung der Oberflächenform eines Prüflings, insbesondere eines optischen Elements einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:

a) Durchführen wenigstens einer Interferogramm-Messreihe an dem Prüfling (140) durch Überlagerung jeweils einer durch Beugung elektromagnetischer Strahlung an einem Computer-generierten Hologramm (CGH) erzeugten und an dem Prüfling (140) reflektierten Prüfwelle mit einer nicht an dem Prüfling (140) reflektierten Referenzwelle; und

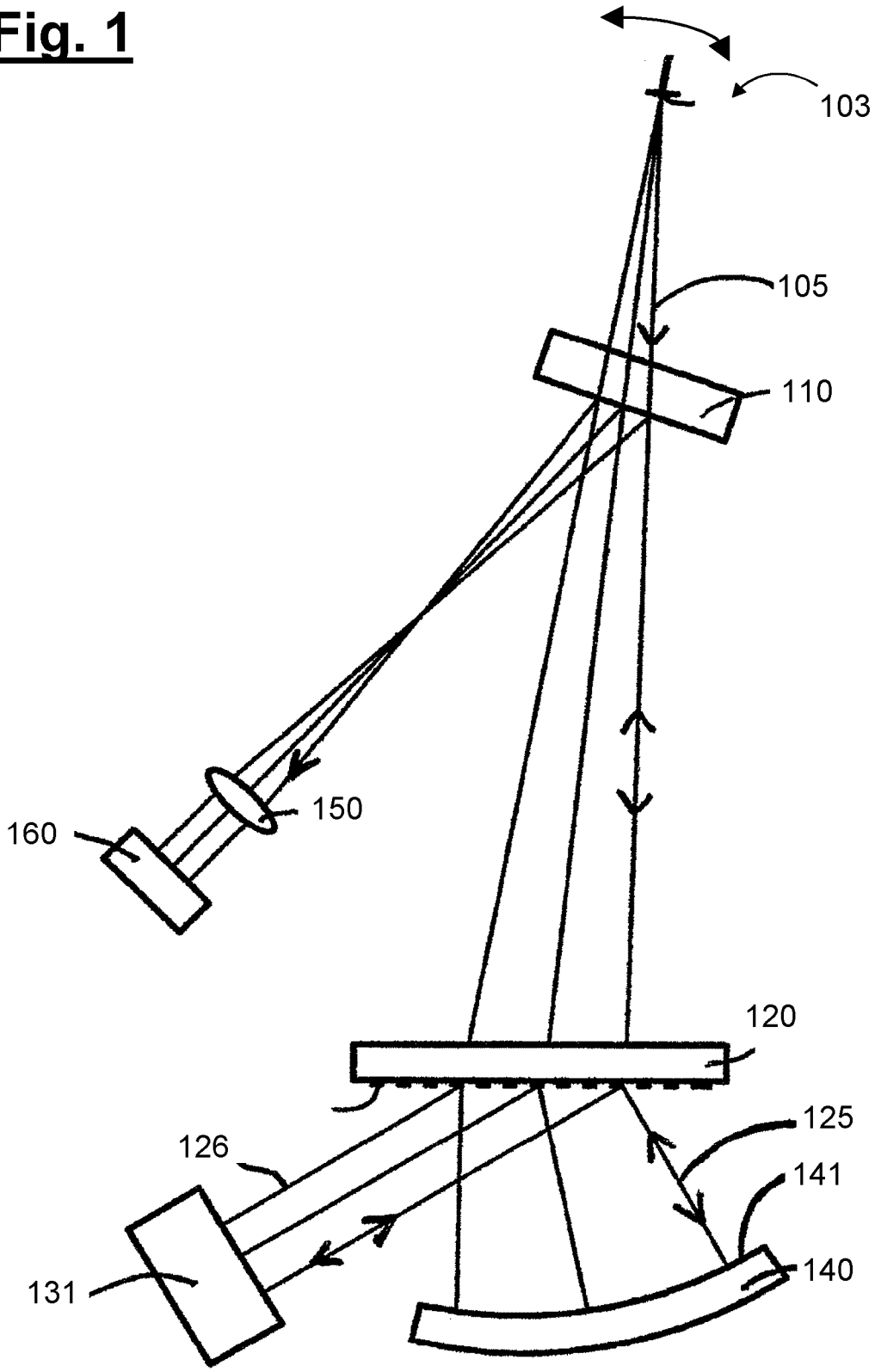
b) Bestimmen der Oberflächenform des Prüflings (140) basierend auf der durchgeführten Interferogramm-Messreihe;

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s

das Verfahren unter Verwendung eines CGH (120, 420, 520, 820) nach einem der Ansprüche 1 bis 7 oder unter Verwendung einer interferometrischen Messanordnung nach einem der Ansprüche 8 bis 15 durchgeführt wird.

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass eine Mehrzahl solcher Interferogramm-Messreihen durchgeführt wird, welche sich hinsichtlich einer Drehstellung oder Dreh-Schiebestellung des Prüflings (840) voneinander unterscheiden.

Fig. 1



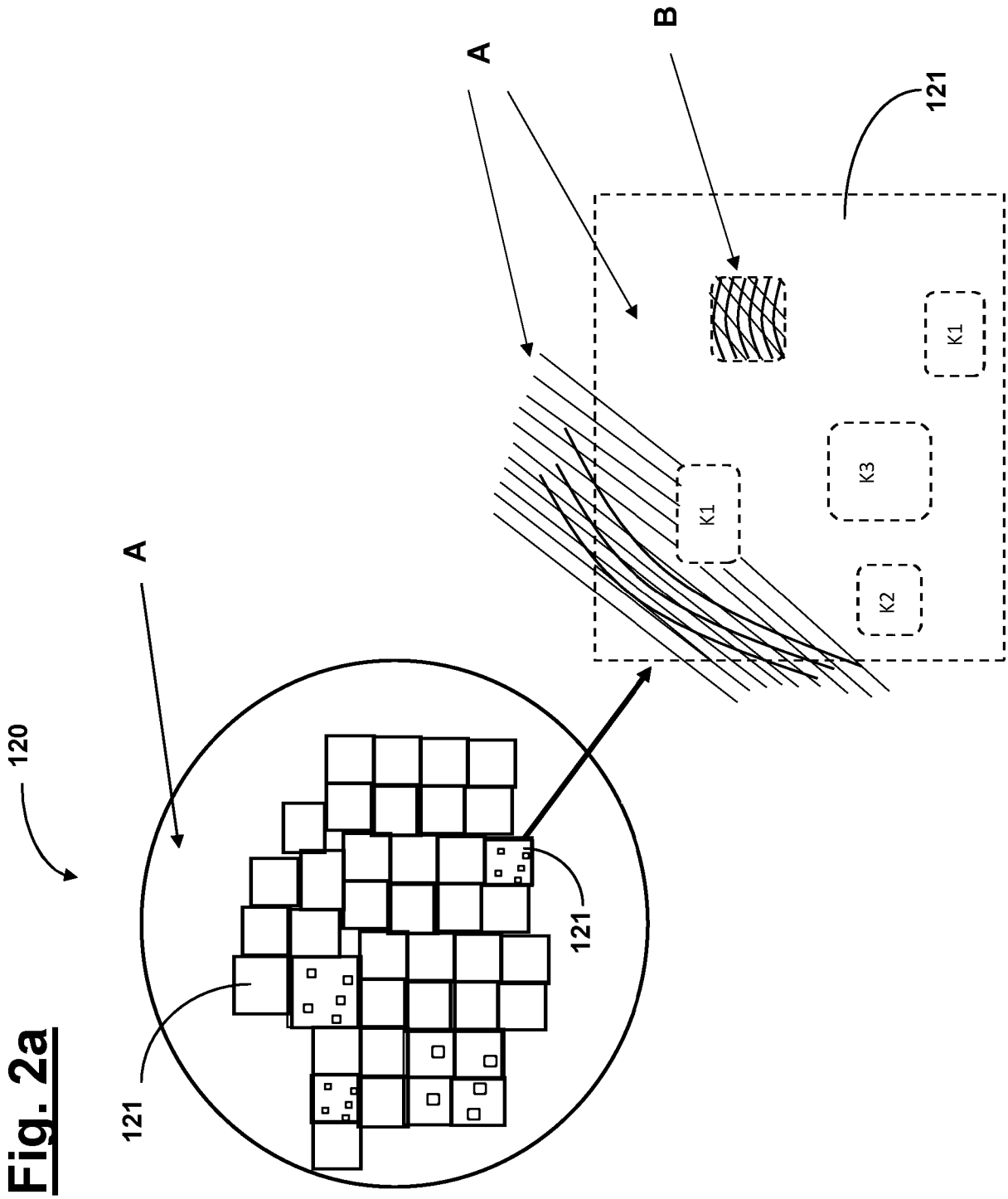


Fig. 2a

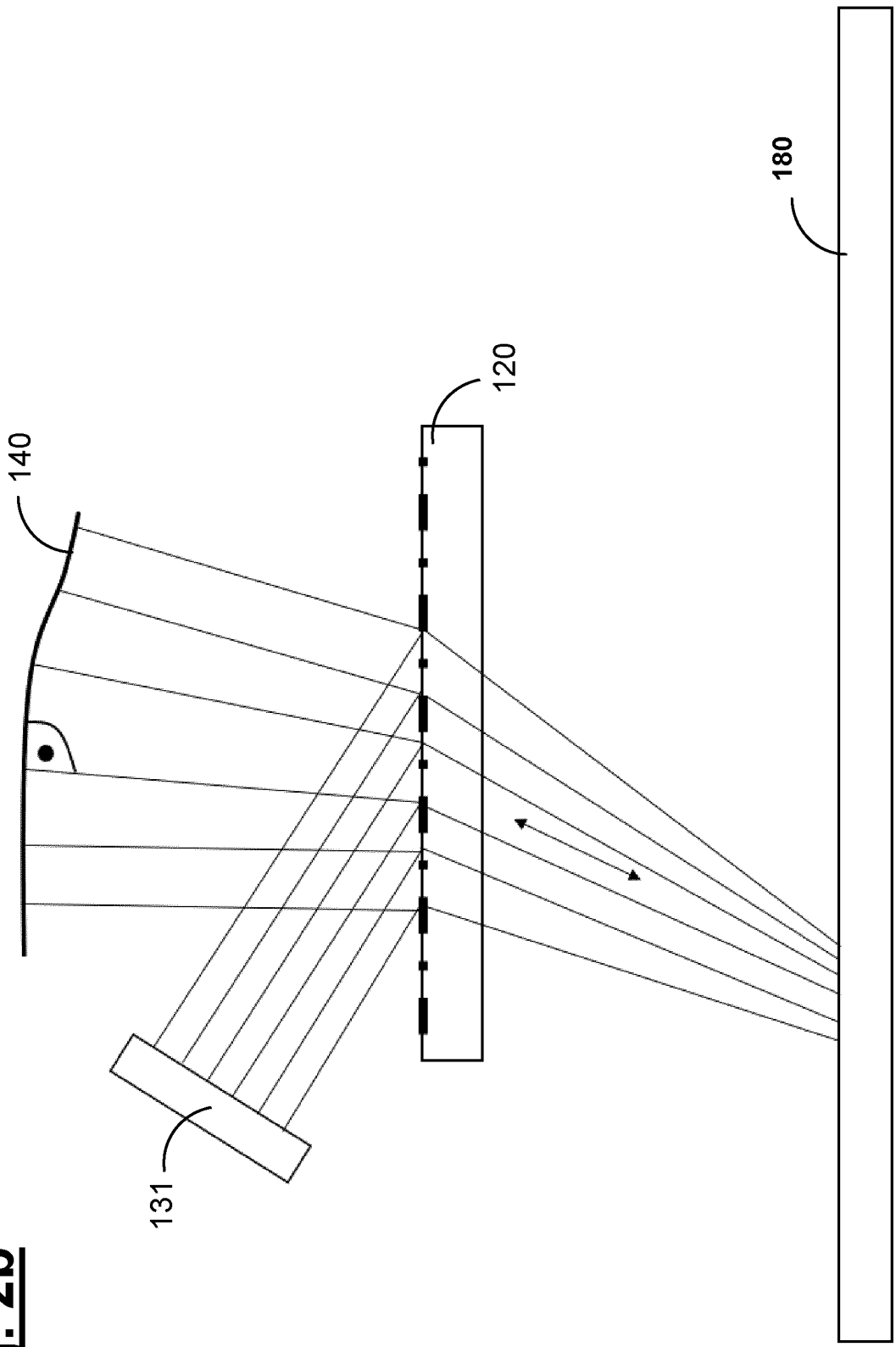


Fig. 2b

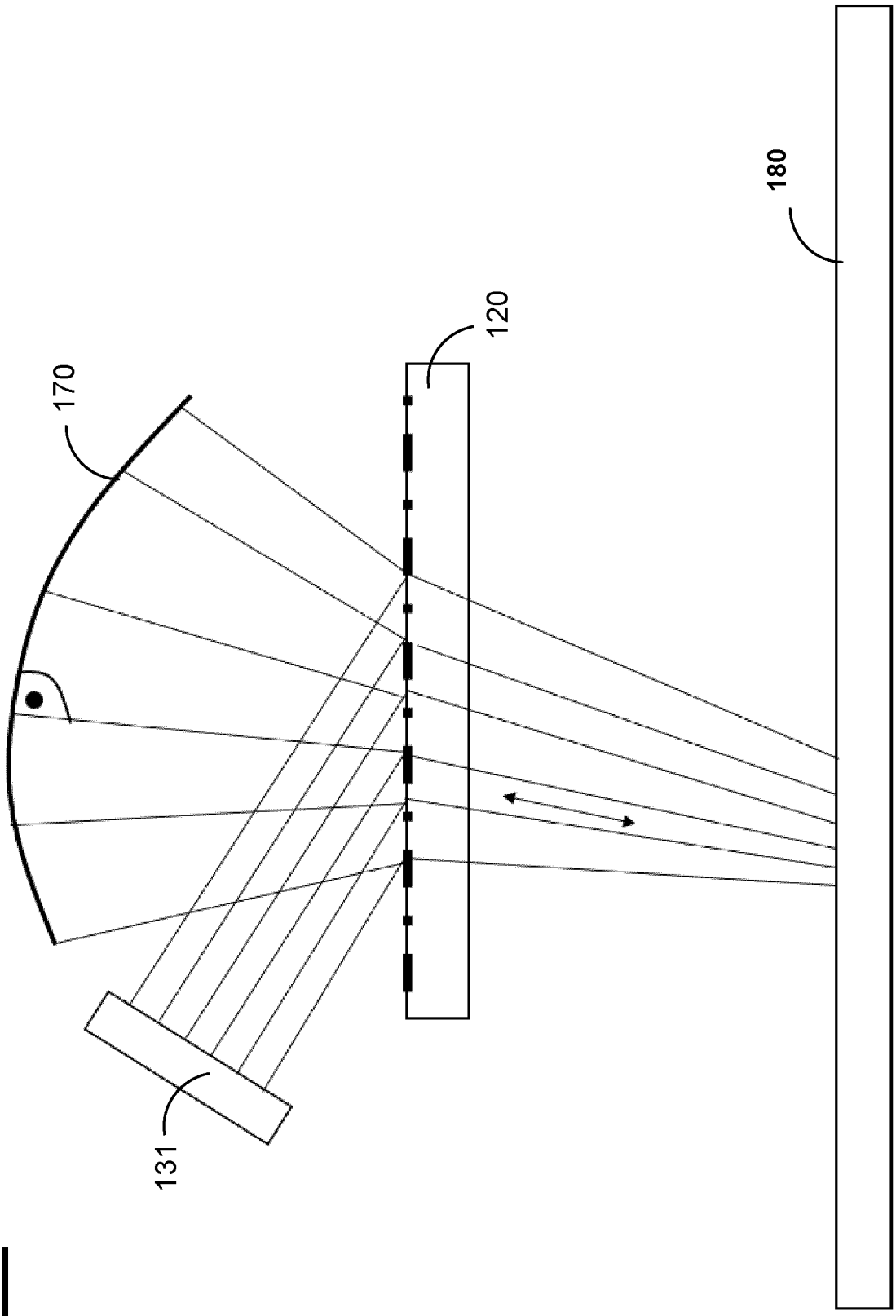


Fig. 2c

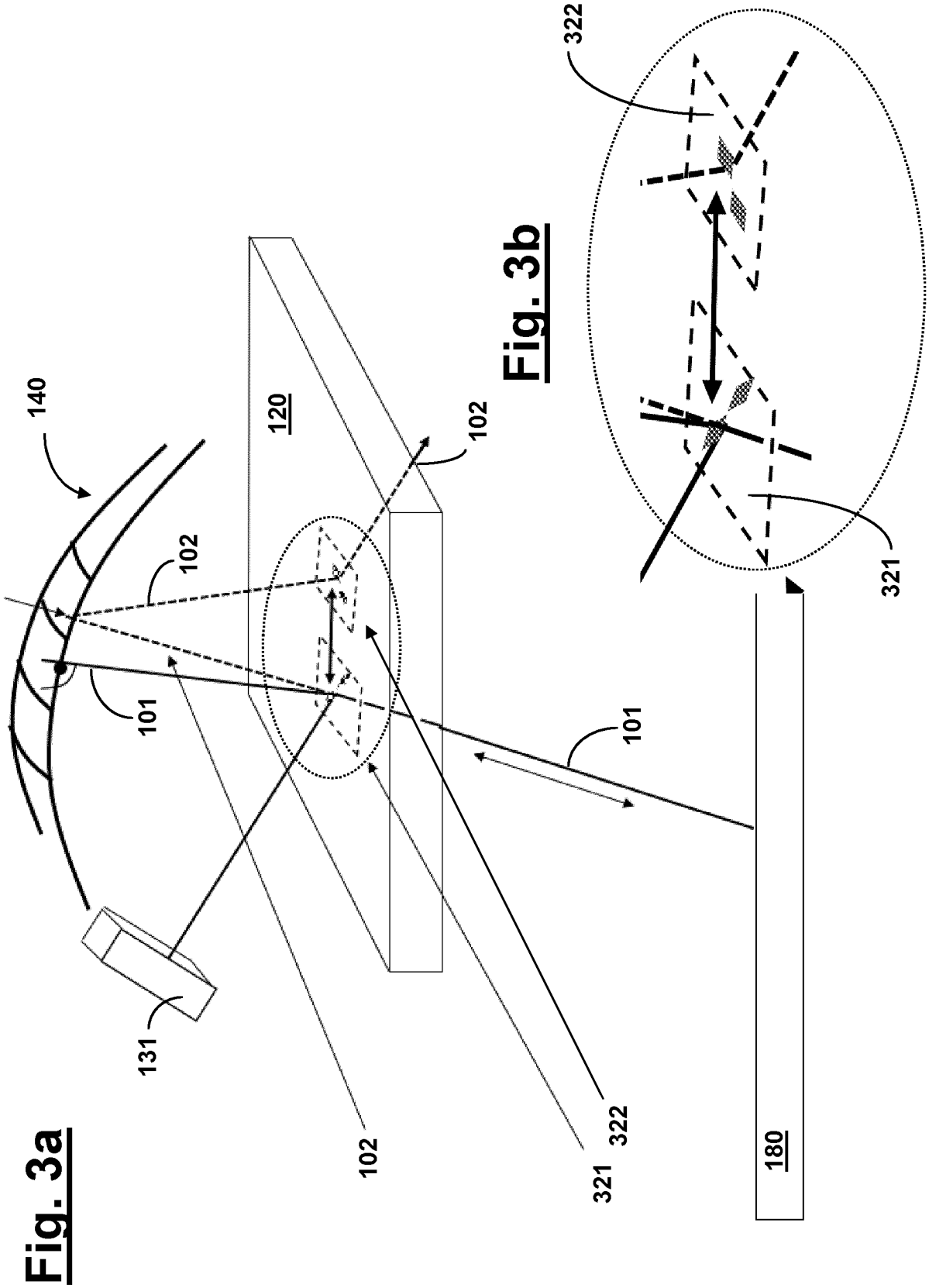


Fig. 3a

Fig. 3b

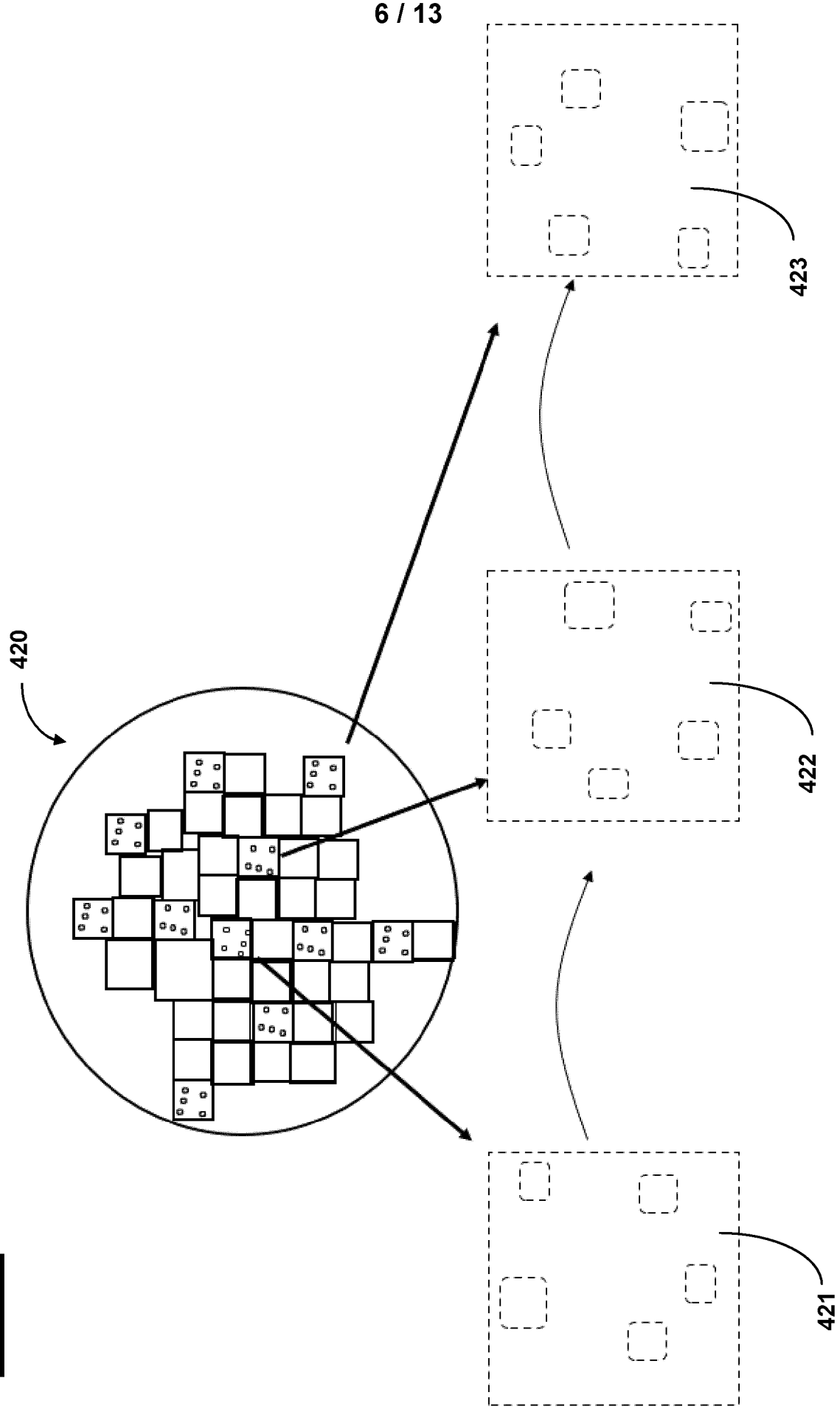


Fig. 4

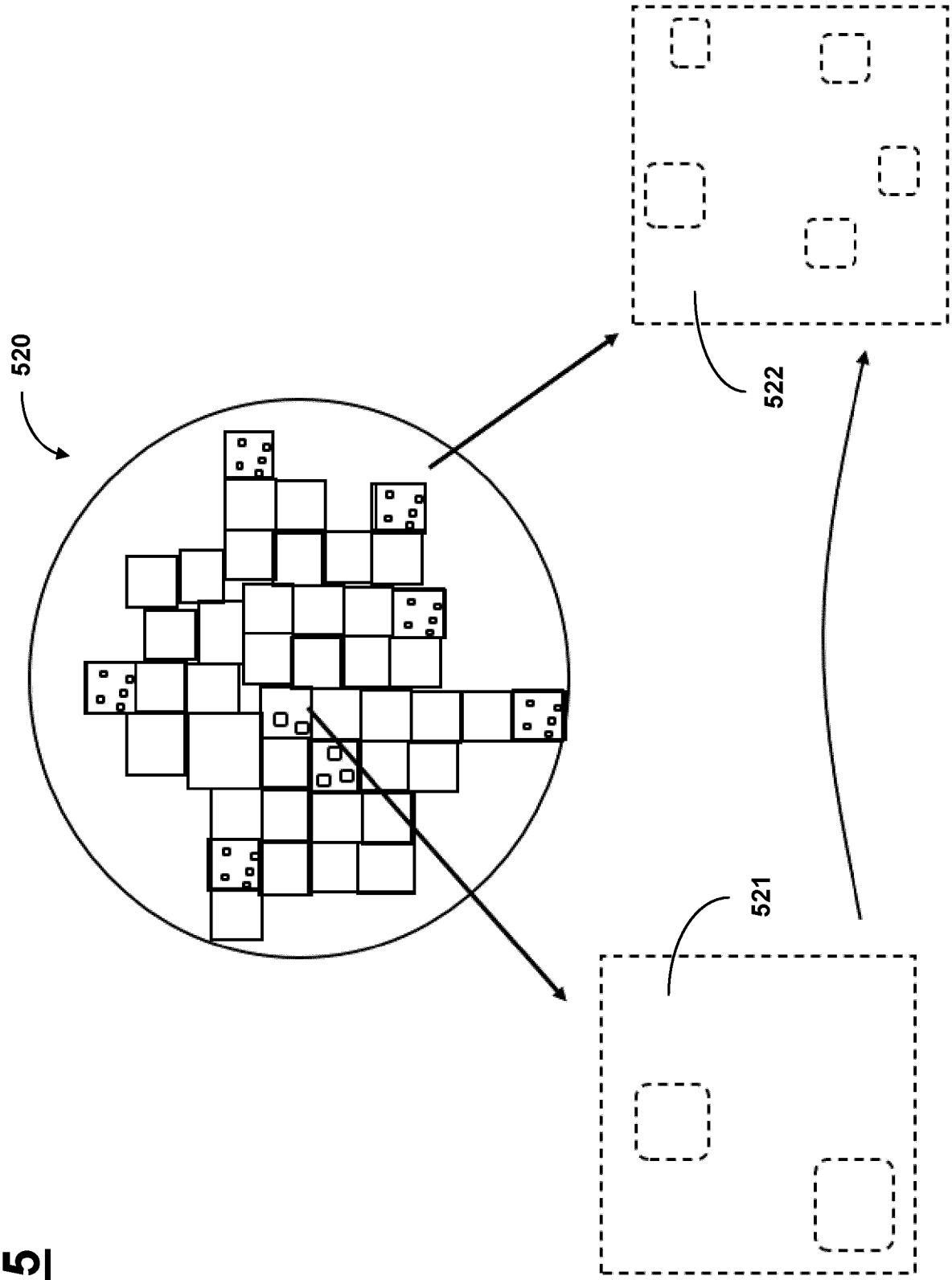


Fig. 5

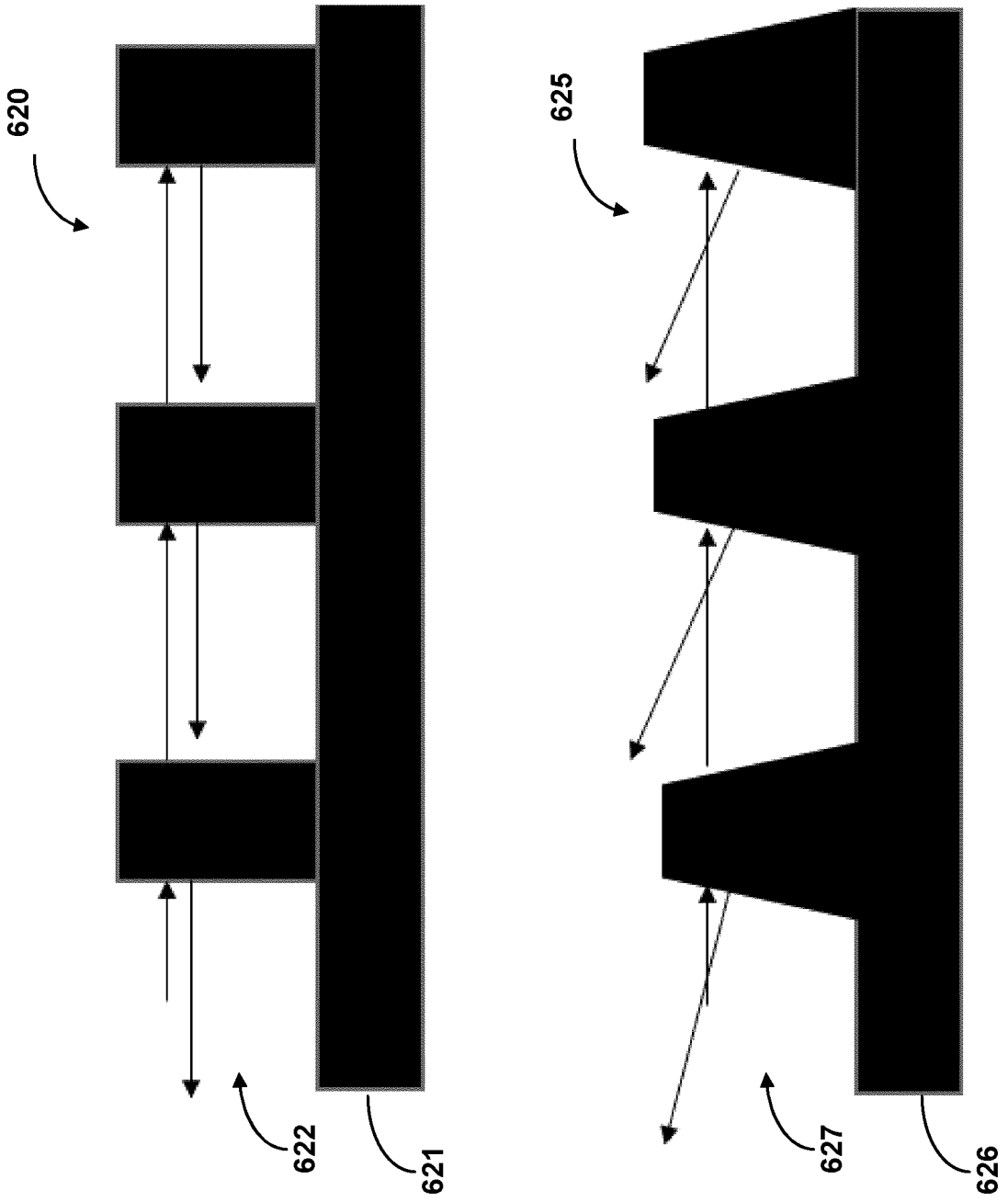


Fig. 6

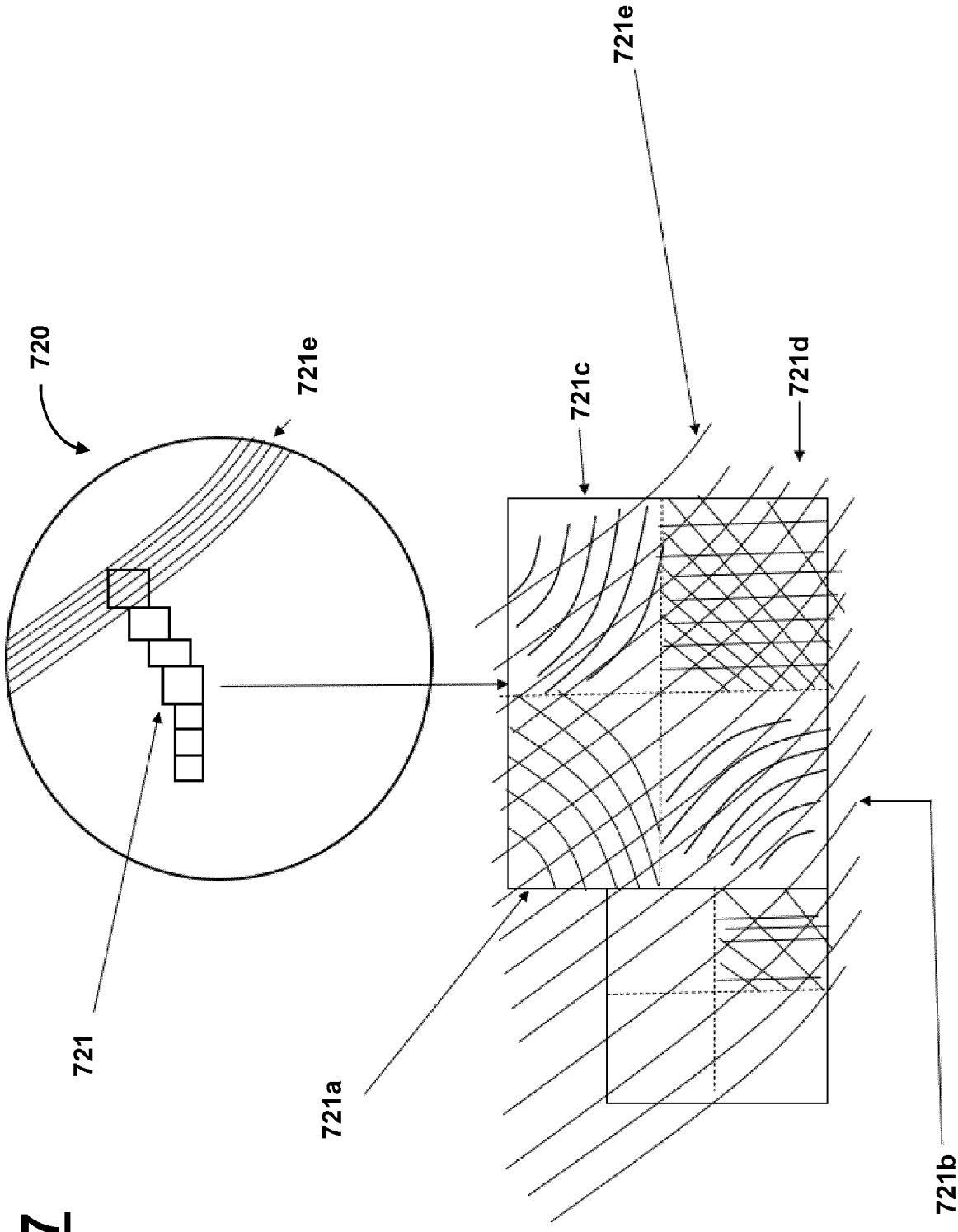


Fig. 7

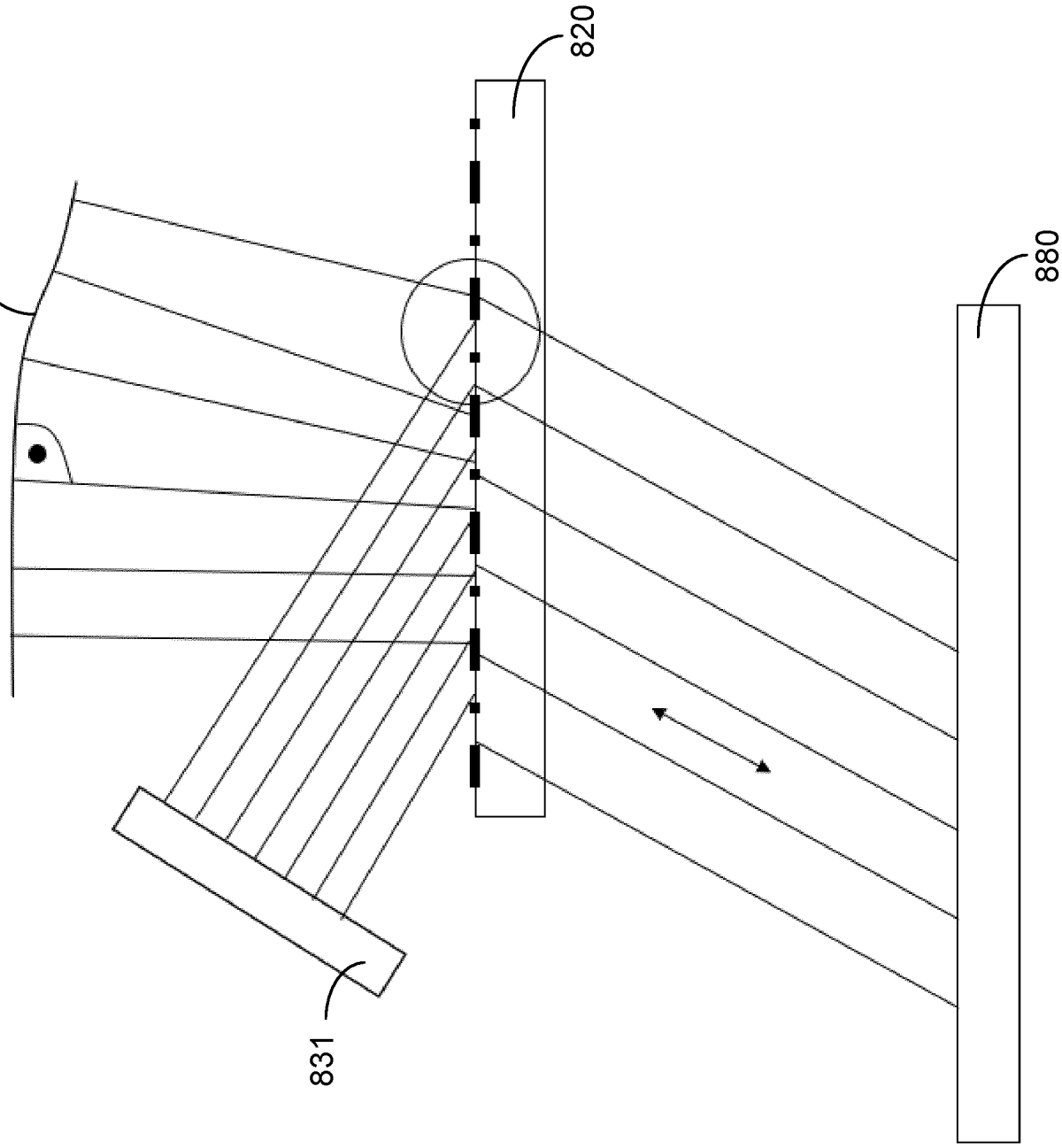


Fig. 8a

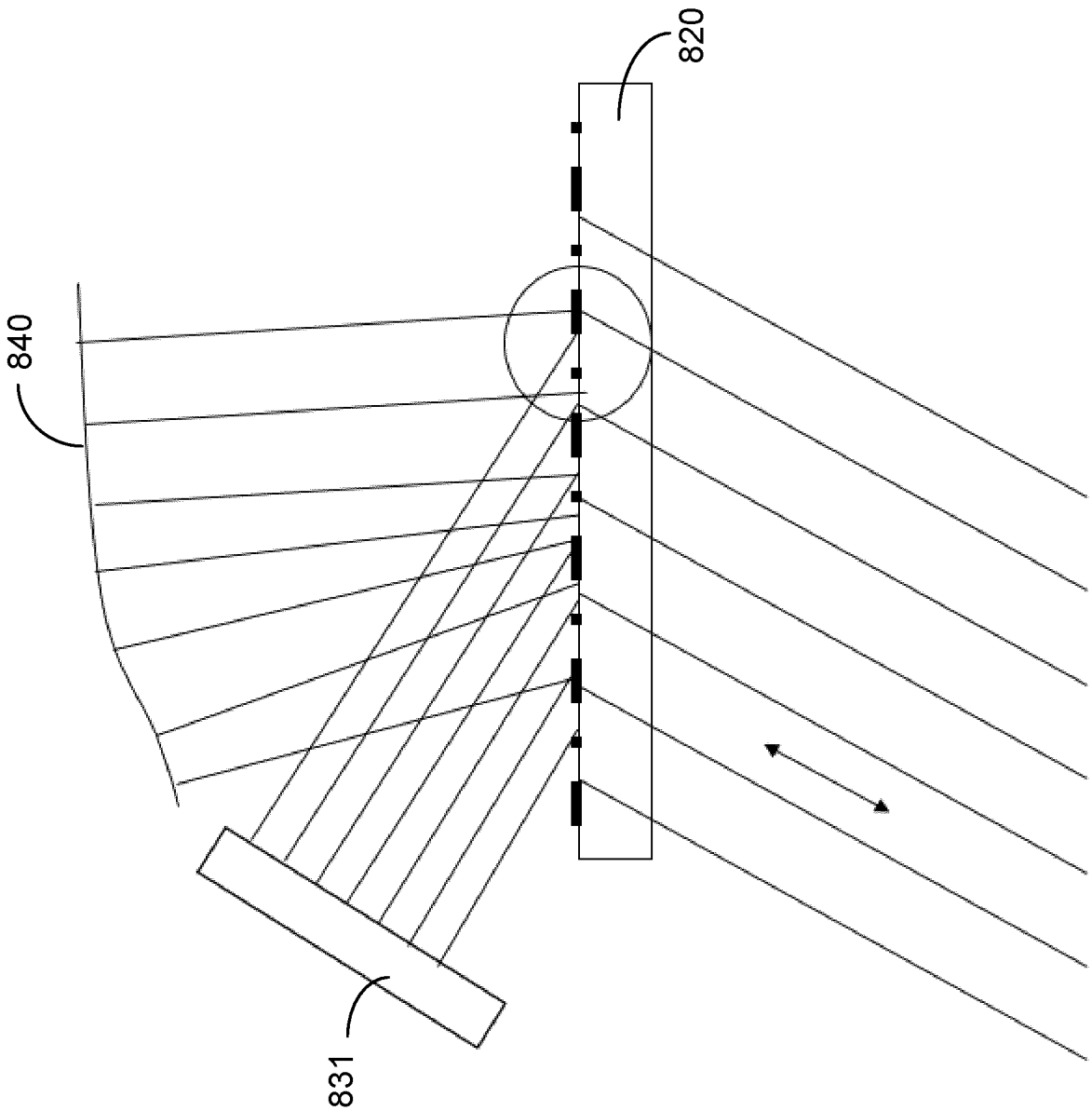


Fig. 8b

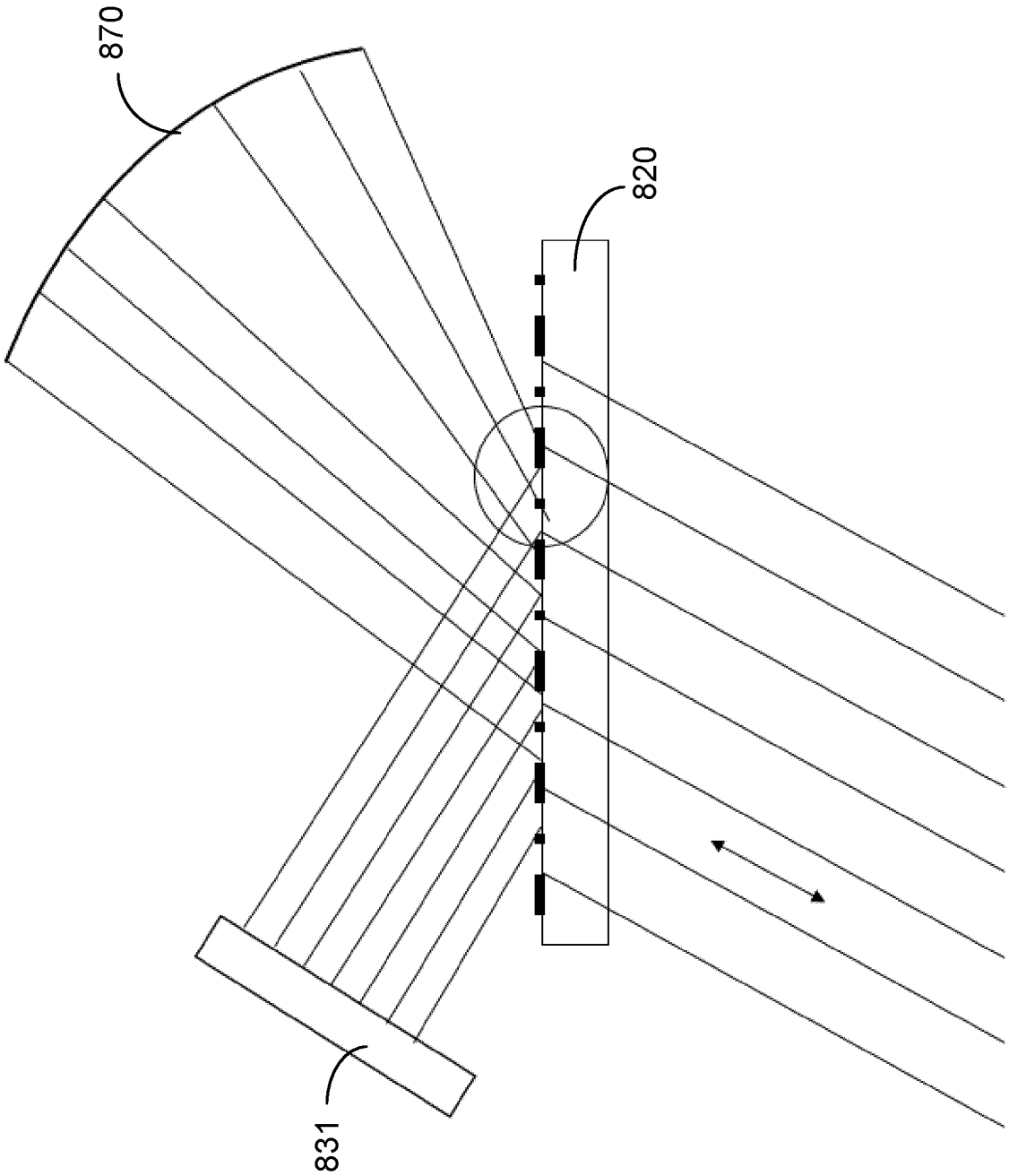


Fig. 8c

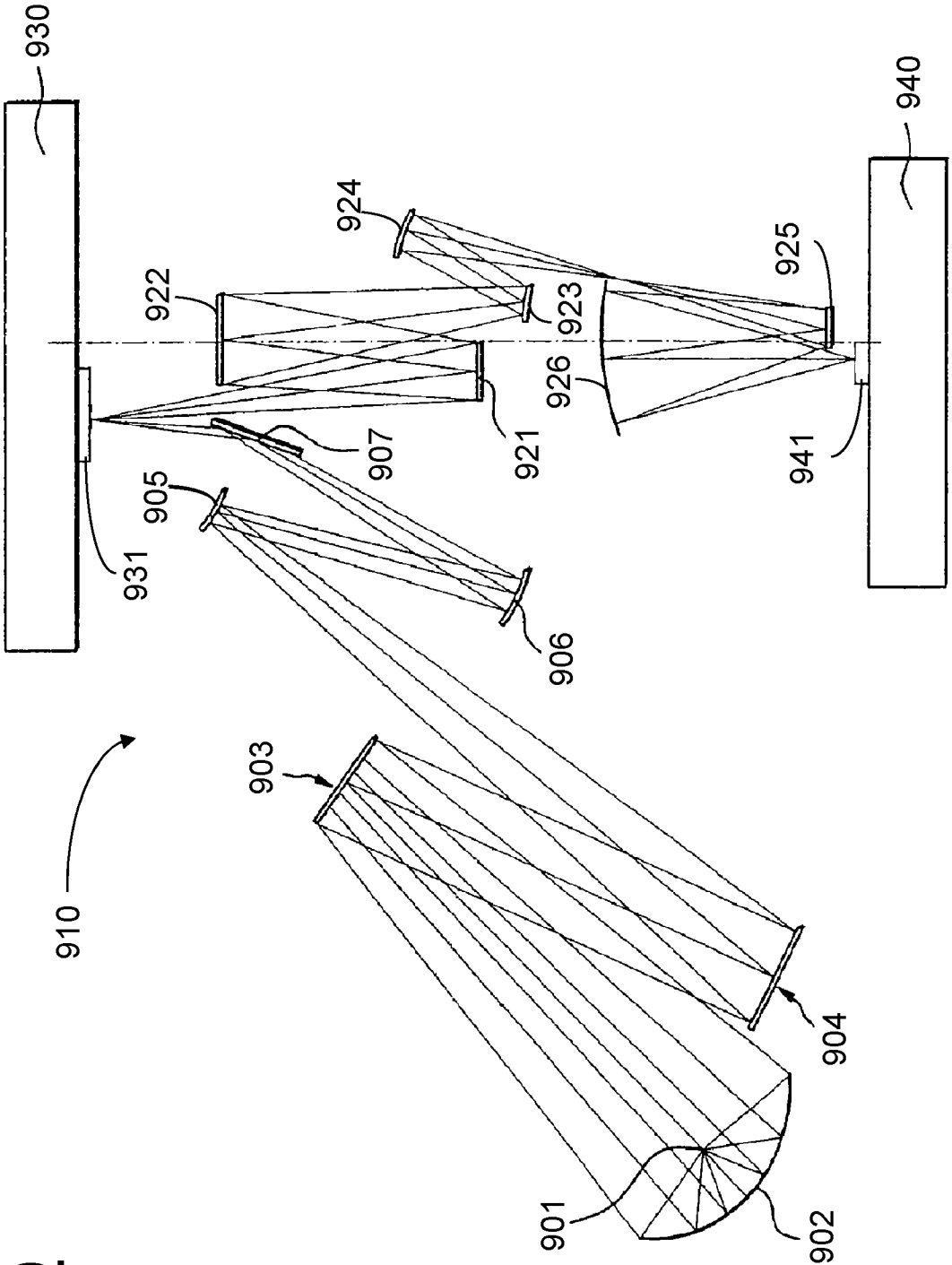

930
940
924
925
922
923
926
921
907
941
905
931
906
903
910
904
901
902

Fig. 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/EP2022/051958

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01B 9/02(2022.01)i; ***G01B 9/02055***(2022.01)i; ***G01B 11/24***(2006.01)i

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)

G01B; G01M

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.
Y	DE 102015220588 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 27 April 2017 (2017-04-27)	1,2,7-17
A	abstract figures 1,9,11 paragraphs [0036], [0037], [0082] - [0097]	3-6
Y	DE 102015209490 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 24 November 2016 (2016-11-24) cited in the application	1,2,7-17
A	paragraphs [0009], [0013]	3-6
Y	US 2006274325 A1 (HETZLER JOCHEN [DE] ET AL) 07 December 2006 (2006-12-07) abstract figure 2 paragraphs [0073], [0100]	7

☐ 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	Date of mailing of the international search report
25 April 2022	**03 May 2022**

Name and mailing address of the ISA/EP	Authorized officer
European Patent Office **p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk** **Netherlands** Telephone No. **(+31-70)340-2040** Facsimile No. **(+31-70)340-3016**	**Poizat, Christophe** Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/EP2022/051958

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
DE 102015220588 A1	27 April 2017	NONE	
DE 102015209490 A1	24 November 2016	CN 107646087 A	30 January 2018
		DE 102015209490 A1	24 November 2016
		EP 3298343 A2	28 March 2018
		US 2018106591 A1	19 April 2018
		WO 2016188620 A2	01 December 2016
US 2006274325 A1	07 December 2006	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2022/051958

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G01B9/02 G01B9/02055 G01B11/24
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G01B G01M

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.
Y	DE 10 2015 220588 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 27. April 2017 (2017-04-27)	1,2,7-17
A	Zusammenfassung Abbildungen 1,9,11 Absätze [0036], [0037], [0082] - [0097]	3-6
Y	DE 10 2015 209490 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 24. November 2016 (2016-11-24) in der Anmeldung erwähnt	1,2,7-17
A	Absätze [0009], [0013]	3-6
Y	US 2006/274325 A1 (HETZLER JOCHEN [DE] ET AL) 7. Dezember 2006 (2006-12-07) Zusammenfassung Abbildung 2 Absätze [0073], [0100]	7

☐ 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
25. April 2022	03/05/2022

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Poizat, Christophe

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2022/051958

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102015220588 A1	27-04-2017	KEINE	
DE 102015209490 A1	24-11-2016	CN 107646087 A	30-01-2018
		DE 102015209490 A1	24-11-2016
		EP 3298343 A2	28-03-2018
		US 2018106591 A1	19-04-2018
		WO 2016188620 A2	01-12-2016
US 2006274325 A1	07-12-2006	KEINE	