



(10) **DE 10 2021 206 203 A1** 2022.12.22

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2021 206 203.2**

(22) Anmeldetag: **17.06.2021**

(43) Offenlegungstag: **22.12.2022**

(51) Int Cl.: **G03F 7/20 (2006.01)**

**G02B 27/09 (2006.01)**

**G02B 27/42 (2006.01)**

**G02B 7/192 (2021.01)**

**G02B 5/08 (2006.01)**

**G02B 7/00 (2021.01)**

(71) Anmelder:

**Carl Zeiss SMT GmbH, 73447 Oberkochen, DE**

(72) Erfinder:

**Beder, Susanne, 73434 Aalen, DE; Kalisky, Matus,  
73434 Aalen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

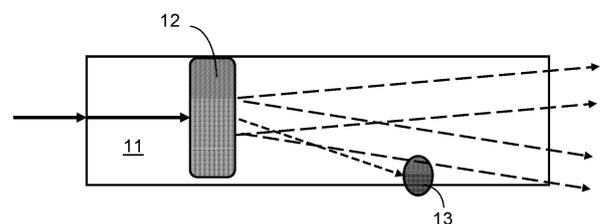
DE	10 2012 216 284	A1
DE	10 2018 206 404	A1
DE	10 2019 219 289	A1
DE	10 2020 207 752	A1
US	2006 / 0 244 940	A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Heizanordnung und Verfahren zum Heizen eines optischen Elements**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Heizanordnung und ein Verfahren zum Heizen eines optischen Elements, insbesondere in einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage. Eine erfindungsgemäße Heizanordnung weist wenigstens eine Strahlformungseinheit (12, 22, 32, 42, 52, 54) zur Strahlformung der von einer Strahlungsquelle auf das wenigstens eine optische Element (25, 35, 45, 55a, 55b) gelenkten elektromagnetischen Strahlung und eine Sensoranordnung, welche wenigstens einen Intensitätssensor (13, 23, 33a, 33b, 43, 53) aufweist, auf, wobei die wenigstens eine Strahlformungseinheit im Betrieb der Heizanordnung einen Teil der elektromagnetischen Strahlung zur Sensoranordnung lenkt.



**Beschreibung**

## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

## Gebiet der Erfindung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Heizanordnung und ein Verfahren zum Heizen eines optischen Elements, insbesondere in einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage.

## Stand der Technik

**[0002]** 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.

**[0003]** 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.

**[0004]** Ein in der Praxis auftretendes Problem ist, dass die EUV-Spiegel u.a. infolge Absorption der von der EUV-Lichtquelle emittierten Strahlung eine Erwärmung und eine damit einhergehende thermische Ausdehnung bzw. Deformation erfahren, welche wiederum eine Beeinträchtigung der Abbildungseigenschaften des optischen Systems zur Folge haben kann. Zur Vermeidung von durch Wärmeeinträge in einen EUV-Spiegel verursachten Oberflächendeformationen sind diverse Ansätze bekannt.

**[0005]** Ein beispielhafter Ansatz beinhaltet den Einsatz einer Heizanordnung auf Basis von elektromagnetischer Strahlung. Mit einer solchen Heizanordnung kann in Phasen vergleichsweise geringer Absorption von EUV-Nutzstrahlung eine aktive Spiegelerwärmung erfolgen, wobei diese aktive Spiegelerwärmung mit steigender Absorption der EUV-Nutzstrahlung entsprechend zurückgefahren wird. Des Weiteren kann auch vor dem eigentlichen Betrieb bzw. vor der Beaufschlagung mit EUV-Strahlung ein Vorwärmen der EUV-Spiegel auf die sogenannte Nulldurchgangstemperatur (= „Zero-Crossing-Temperatur“) erfolgen, bei welcher der thermische Aus-

dehnungskoeffizient in seiner Temperaturabhängigkeit einen Nulldurchgang aufweist, in dessen Umgebung keine oder nur eine vernachlässigbare thermische Ausdehnung des Spiegelsubstratmaterials erfolgt.

**[0006]** Hierbei stellt die Erzeugung der erforderlichen Heizprofile (die auch in örtlicher Hinsicht wechselnden Strahlungsintensitäten z.B. aufgrund der Verwendung von Beleuchtungssettings mit über die optische Wirkfläche der EUV-Spiegel variierender Intensität Rechnung tragen sollten) einschließlich der Bereitstellung der zur Heizung erforderlichen elektromagnetischen Strahlung eine anspruchsvolle Herausforderung dar.

**[0007]** Die zur Heizung erforderliche elektromagnetische Strahlung wird typischerweise von der jeweiligen Laserquelle über optische Glasfasern zu der eigentlichen, die einzelnen optischen Komponenten der Heizanordnung aufweisenden Optik geführt. Hierbei in der Praxis auftretende Probleme umfassen neben zu beachtenden Bauraumbeschränkungen die Fehleranfälligkeit der Heizanordnung z.B. infolge von Faserbrüchen, aber auch infolge eines (z.B. kontaminations- und/oder absorptionsbedingten) Ausfalls von innerhalb der Heizanordnung vorhandenen optischen Komponenten.

**[0008]** Vor diesem Hintergrund besteht in der Praxis ein Bedarf, im Betrieb der Heizanordnung jederzeit sicherzustellen, dass die zur Heizung eines optischen Elements wie z.B. eines EUV-Spiegels erzeugte elektromagnetische Strahlung auch das die Heizanordnung bildende optische System verlässt. Eine weitere in der Praxis bestehende Herausforderung betrifft die präzise Justage des die Heizanordnung bildenden optischen Systems (etwa hinsichtlich einer möglichen Dezentrierung und/oder Verkippung in der jeweiligen Einbauposition).

**[0009]** Zum Stand der Technik wird lediglich beispielhaft auf DE 10 2017 207 862 A1 verwiesen.

## ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

**[0010]** Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Heizanordnung und ein Verfahren zum Heizen eines optischen Elements in einem optischen System, insbesondere in einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, bereitzustellen, welche eine wirksame Vermeidung von durch Wärmeeinträge in dem optischen Element verursachten Oberflächendeformationen und damit einhergehenden optischen Aberrationen unter zumindest teilweiser Vermeidung der vorstehend beschriebenen Probleme ermöglichen.

**[0011]** Diese Aufgabe wird durch die Heizanordnung sowie das Verfahren gemäß den Merkmalen der nebengeordneten Patentansprüche gelöst.

**[0012]** Eine Heizanordnung zum Heizen eines optischen Elements mit elektromagnetischer Strahlung weist auf:

- wenigstens eine Strahlformungseinheit zur Strahlformung der von einer Strahlungsquelle auf das wenigstens eine optische Element gelenkten elektromagnetischen Strahlung, und
- eine Sensoranordnung, welche wenigstens einen Intensitätssensor aufweist,
- wobei die wenigstens eine Strahlformungseinheit im Betrieb der Heizanordnung einen Teil der elektromagnetischen Strahlung zur Sensoranordnung lenkt.

**[0013]** Bei der Strahlungsquelle kann es sich insbesondere um eine Laserquelle, in weiteren Ausführungsformen aber auch um eine andere strahlungsemitternde Quelle bzw. ein strahlungsemitterndes Objekt handeln. Die von der Strahlungsquelle auf das optische Element zu dessen Heizung gelenkte elektromagnetische Strahlung kann auf die optische Wirkfläche oder auch auf die Rückseite des optischen Elements treffen. Des Weiteren kann es sich bei der elektromagnetischen Strahlung um Infrarotstrahlung oder um Strahlung einer anderen Wellenlänge handeln.

**[0014]** Der Erfindung liegt insbesondere das Konzept zugrunde, bei einer Funktionsüberwachung einer zum Heizen eines optischen Elements mit elektromagnetischer Strahlung dienenden Heizanordnung, insbesondere in einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, eine innerhalb der Heizanordnung typischerweise ohnehin vorhandene (und insbesondere in Ausführungsformen wenigstens ein diffraktives oder refraktives optisches Element aufweisende) Strahlformungseinheit dazu zu nutzen, einen Teil der elektromagnetischen Strahlung zu einer wenigstens einen Intensitätssensor aufweisenden Sensoranordnung zu lenken.

**[0015]** Mit anderen Worten erfolgt erfindungsgemäß insbesondere der Einsatz eines oder mehrerer diffraktiver (oder refraktiver) Elemente u.a. zu dem Zweck, einen Teil der elektromagnetischen Strahlung zu einer oder mehreren vordefinierten Positionen im Winkelraum zu senden, wo ein oder mehrere Intensitätssensoren die betreffende elektromagnetische Strahlung verarbeiten und jeweils gewünschte Informationen ermitteln. Im Ergebnis kann so jederzeit im Betrieb der Heizanordnung deren ordnungsgemäße Funktion überwacht bzw. sichergestellt werden. Darüber hinaus kann die über die erfindungsgemäße Sensoranordnung erhaltene Information wie im Weiteren noch näher beschrieben zusätzlich auch für

eine Ansteuerung bzw. Regelung der die elektromagnetische Strahlung erzeugenden Strahlungsquelle (insbesondere von deren Quelleistung) verwendet werden.

**[0016]** Des Weiteren kann die besagte Information auch wie ebenfalls im Weiteren noch näher beschrieben zur Messung der Position des die Heizanordnung bildenden optischen Systems relativ zu dem zu heizenden Element bzw. zur Justage des besagten optischen Systems genutzt werden.

**[0017]** Die erfindungsgemäße Nutzung einer innerhalb der Heizanordnung vorhandenen Strahlformungseinheit insbesondere in Gestalt wenigstens eines diffraktiven optischen Elements zum Zwecke der Strahlungsauskopplung in Richtung einer Sensoranordnung weist dabei mehrere Vorteile auf:

Zum einen können wie im Weiteren noch beschrieben auch mehrere voneinander verschiedene Bereiche der betreffenden Strahlformungseinheit bzw. des diffraktiven optischen Elements Strahlung zur Vermessung bzw. Überwachung auf einen einzigen Intensitätssensor lenken, was sowohl hinsichtlich des erforderlichen Bauraums als auch hinsichtlich der Anzahl erforderlicher Sensoren sowie Kabelzuführungen unter Kostenaspekten und hinsichtlich im Betrieb auftretender unerwünschter dynamischer Einflüsse vorteilhaft ist. Dabei kann die Position der Sensoranordnung abhängig von den konkreten Bauraumgegebenheiten in beliebiger Weise innerhalb oder auch außerhalb des die Heizanordnung bildenden optischen Systems frei gewählt werden.

**[0018]** Da es sich bei der erfindungsgemäß zur Strahlungsauskopplung genutzten Strahlformungseinheit bzw. dem wenigstens einen diffraktiven optischen Element um eine typischerweise ohnehin innerhalb der Heizanordnung vorhandene Komponente handelt, werden für die erfindungsgemäße Auskopplung der zur der Sensoranordnung gelenkten (Mess-)Strahlen keine zusätzlichen optischen Elemente benötigt. Des Weiteren können bei Ausgestaltung der Strahlformungseinheit bzw. des diffraktiven optischen Elements mit mehreren separaten Bereichen diese Bereiche sowohl hinsichtlich der Intensität der jeweils ausgehenden elektromagnetischen Strahlung relativ zum Nutzlicht als auch hinsichtlich der Form der (Mess-)Strahlen voneinander unabhängig ausgelegt werden.

**[0019]** Dabei wird erfindungsgemäß bewusst ein erhöhter Aufwand sowohl hinsichtlich der Ausgestaltung der Strahlformungseinheit bzw. des wenigstens einen diffraktiven optischen Elements (hinsichtlich der Erzeugung eines oder mehrerer zusätzlicher Messstrahlen und somit der erhöhten Komplexität des DOE-Designs) in Kauf genommen, um im

Gegenzug die vorstehend beschriebenen Vorteile und insbesondere eine zuverlässige Funktionsüberwachung zu erzielen.

**[0020]** Gemäß einer Ausführungsform weist die wenigstens eine Strahlformungseinheit wenigstens ein mikrostrukturiertes Element, insbesondere wenigstens ein diffraktives optisches Element (DOE) oder wenigstens ein refraktives optisches Element (ROE), auf.

**[0021]** Gemäß einer Ausführungsform weist die wenigstens eine Strahlformungseinheit eine Mehrzahl von separaten Bereichen auf, wobei diese separaten Bereiche auftreffende elektromagnetische Strahlung in voneinander verschiedene Richtungen ablenken.

**[0022]** Gemäß einer Ausführungsform weist die Sensoranordnung eine Mehrzahl von Intensitätssensoren auf.

**[0023]** Gemäß einer Ausführungsform lenken die separaten Bereiche der Strahlformungseinheit elektromagnetische Strahlung zu voneinander verschiedenen Intensitätssensoren ab.

**[0024]** Gemäß einer Ausführungsform weist die Heizanordnung eine Mehrzahl von Strahlformungseinheiten zur Beaufschlagung unterschiedlicher optischer Elemente auf, wobei diese Strahlformungseinheiten im Betrieb der Heizanordnung einen Teil der elektromagnetischen Strahlung zu ein- und derselben Sensoranordnung lenken.

**[0025]** Gemäß einer Ausführungsform weist die Heizanordnung eine Ansteuerungseinheit zur Ansteuerung der Strahlungsquelle auf Basis von Signalen der Sensoranordnung auf.

**[0026]** Gemäß einer Ausführungsform weist die Heizanordnung eine Regelungseinheit zur Regelung der Leistung der Strahlungsquelle auf Basis von Signalen der Sensoranordnung auf.

**[0027]** Gemäß einer Ausführungsform ist das optische Element ein Spiegel.

**[0028]** Gemäß einer Ausführungsform ist das optische Element für eine Arbeitswellenlänge von weniger als 30 nm, insbesondere weniger als 15 nm, ausgelegt.

**[0029]** Die Erfindung betrifft weiter ein Verfahren zum Heizen eines optischen Elements in einem optischen System, insbesondere unter Verwendung einer Heizanordnung mit den vorstehend beschriebenen Merkmalen, wobei ein optisches Element mit elektromagnetischer Strahlung einer Strahlungsquelle über wenigstens eine Strahlformungseinheit

beaufschlagt wird, wobei ein Teil der elektromagnetischen Strahlung zu einer Sensoranordnung, welche wenigstens einen Intensitätssensor aufweist, gelenkt wird, und wobei die Intensität dieses Teils der elektromagnetischen Strahlung von der Sensoranordnung erfasst wird.

**[0030]** Gemäß einer Ausführungsform wird auf Basis von Signalen der Sensoranordnung die Leistung der Strahlungsquelle geregelt.

**[0031]** Gemäß einer Ausführungsform wird auf Basis von Signalen der Sensoranordnung eine Justage der verwendeten Heizanordnung vorgenommen.

**[0032]** Gemäß einer Ausführungsform erfolgt das Heizen des optischen Elements derart, dass eine örtliche und/oder zeitliche Variation einer Temperaturverteilung in dem optischen Element reduziert wird.

**[0033]** Zu Vorteilen und weiteren bevorzugten Ausgestaltungen des Verfahrens wird auf die o.g. Ausführungen im Zusammenhang mit der erfindungsgemäßen Heizanordnung Bezug genommen.

**[0034]** Die Erfindung betrifft weiter auch ein optisches System, insbesondere in einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, mit wenigstens einem optischen Element und einer Heizanordnung zum Heizen dieses optischen Elements, wobei die Heizanordnung mit den vorstehend beschriebenen Merkmalen ausgestaltet ist.

**[0035]** Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind der Beschreibung sowie den Unteransprüchen zu entnehmen.

**[0036]** Die Erfindung wird nachstehend anhand von in den beigefügten Abbildungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert.

#### Figurenliste

**[0037]** Es zeigen:

**Fig. 1-5** schematische Darstellungen zur Erläuterung prinzipieller möglicher Ausgestaltungen einer erfindungsgemäßen Heizanordnung;

**Fig. 6a-6e** schematische Darstellungen zur Erläuterung von Aufbau und Funktionsweise einer konkreten Ausgestaltung einer Heizanordnung in einer Ausführungsform der Erfindung;

**Fig. 7** eine schematische Darstellung zur Erläuterung von Aufbau und Funktionsweise einer konkreten Ausgestaltung einer Heizanordnung in einer weiteren Ausführungsform der Erfindung;

**Fig. 8a-8d** schematische Darstellungen zur Erläuterung einer weiteren Ausgestaltung und Anwendung einer erfindungsgemäßen Heizanordnung; und

**Fig. 9** eine schematische Darstellung des möglichen Aufbaus einer für den Betrieb im EUV ausgelegten mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG BEVORZUGTER AUSFÜHRUNGSFORMEN

**[0038]** **Fig. 9** zeigt zunächst eine schematische Darstellung einer für den Betrieb im EUV ausgelegten Projektionsbelichtungsanlage 900, in der die Erfindung beispielsweise realisierbar ist.

**[0039]** Gemäß **Fig. 9** weist eine Beleuchtungseinrichtung der Projektionsbelichtungsanlage 900 einen Feldfacettenspiegel 903 und einen Pupillenfacettenspiegel 904 auf. Auf den Feldfacettenspiegel 903 wird das Licht einer Lichtquelleneinheit, welche im Beispiel eine EUV-Lichtquelle (Plasmaslichtquelle) 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.

**[0040]** Im Betrieb des optischen Systems bzw. der mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage wird die auf die optische Wirkfläche der Spiegel auftreffende elektromagnetische Strahlung zum Teil absorbiert und führt wie eingangs erläutert zu einer Erwärmung und einer damit einhergehenden thermischen Ausdehnung bzw. Deformation, welche wiederum eine Beeinträchtigung der Abbildungseigenschaften des optischen Systems zur Folge haben kann. Die erfindungsgemäße Heizanordnung bzw. das Verfahren zum Heizen eines optischen Elements kann z.B. auf einen beliebigen Spiegel der mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage von **Fig. 9** angewendet werden.

**[0041]** Im Weiteren werden zunächst unter Bezugnahme auf **Fig. 1-5** prinzipiell mögliche Ausgestaltungen einer erfindungsgemäßen Heizanordnung erläutert, woraufhin anhand von **Fig. 6a-6e** sowie **Fig. 7** konkrete Ausgestaltungen in beispielhaften Ausführungsformen der Erfindung beschrieben werden.

**[0042]** Diesen prinzipiellen Ausgestaltungen bzw. konkreten Ausführungsformen einer Heizanordnung ist gemeinsam der Einsatz einer Strahlformungseinheit insbesondere in Gestalt wenigstens eines diffraktiven optischen Elements sowie die Verwendung dieser Strahlformungseinheit unter anderem zu dem Zweck, einen Teil der elektromagnetischen (Strahlung zu einer oder mehreren vordefinierten Positionen im Winkelraum zu lenken, wo dann über eine wenigstens einen Intensitätssensor aufweisende Sensoranordnung die zur Funktionsüberwachung sowie gegebenenfalls für weitere Aufgaben (wie etwa die Ansteuerung bzw. Regelung der Strahlungsquelle und/oder eine Positionskontrolle bzw. Justage) benötigte Information erfasst wird.

**[0043]** **Fig. 1** zeigt in schematischer und stark vereinfachter Darstellung eine innerhalb eines optischen Systems 11 befindliche Strahlformungseinheit 12 in Gestalt eines diffraktiven optischen Elements (DOE), welches in das die Heizanordnung bildende optische System 11 eintretende und auf besagtes DOE auftreffende elektromagnetische Strahlung teilweise zu einer Sensoranordnung in Gestalt eines Intensitätssensors 13 lenkt. Die übrige, nicht zum Intensitätssensor 13 gelenkte (Heiz-)Strahlung tritt aus der Heizanordnung 11 aus und dient zur Beaufschlagung eines (in **Fig. 1** nicht dargestellten, aber z.B. in **Fig. 2** angedeuteten) optischen Elements z.B. in Gestalt eines EUV-Spiegels. Gemäß dem schematischen Beispiel von **Fig. 1** befindet sich der die Sensoranordnung bildende Intensitätssensor 13 innerhalb des optischen Systems 11.

**[0044]** **Fig. 2** zeigt ebenfalls in schematischer und stark vereinfachter Weise eine weitere prinzipiell mögliche Ausgestaltung, wobei im Vergleich zu **Fig. 1** analoge bzw. im Wesentlichen funktionsgleiche Komponenten mit um „10“ erhöhten Bezugsziffern bezeichnet sind. Gemäß **Fig. 2** befindet sich im Unterschied zu **Fig. 1** der die Sensoranordnung bildende Intensitätssensor 23 außerhalb des optischen Systems 21. Mit „25“ ist das zu heizende optische Element angedeutet.

**[0045]** **Fig. 3** zeigt wiederum in schematischer und stark vereinfachter Weise eine weitere mögliche prinzipielle Ausgestaltung, wobei im Unterschied zu **Fig. 2** ein die Strahlformungseinheit 32 bildendes DOE zwei separate Bereiche 32a, 32b aufweist, welche elektromagnetische (Heiz-)Strahlung zum Teil zu voneinander verschiedenen, die Sensoranordnung bildenden Intensitätssensoren 33a, 33b lenken.

**[0046]** **Fig. 4** zeigt eine zu **Fig. 3** analoge Darstellung, wobei zu **Fig. 3** analoge bzw. im Wesentlichen funktionsgleiche Komponenten mit um „10“ erhöhten Bezugsziffern bezeichnet sind. Gemäß **Fig. 4** lenken im Unterschied zu **Fig. 3** die separaten Bereiche 42a, 42b des die Strahlformungseinheit 42 bildenden

DOEs elektromagnetische Strahlung auf ein- und denselben Intensitätssensor 43.

**[0047]** Fig. 5 zeigt eine schematische und stark vereinfachte Darstellung zur Erläuterung einer weiteren möglichen Ausgestaltung. Gemäß Fig. 5 weist die Heizanordnung zwei separate optische Systeme 51a, 51b zur Beaufschlagung separater optischer Elemente 55a, 55b auf, wobei jedes dieser optischen Systeme 51a, 51b jeweils einen zu Fig. 4 analogen Aufbau besitzt. Dabei trifft die von den separaten Bereichen 52a, 52b bzw. 54a, 54b der die jeweilige Strahlformungseinheit 52 bzw. 54 bildenden DOEs in Richtung zur Sensoranordnung gelenkte Strahlung auf ein- und denselben Intensitätssensor 53.

**[0048]** Fig. 6a-6e zeigen schematische Darstellungen zur Erläuterung von Aufbau und Funktionsweise einer konkreten Ausgestaltung einer Heizanordnung in einer Ausführungsform der Erfindung.

**[0049]** Gemäß Fig. 6a weist die erfindungsgemäße Heizanordnung insbesondere eine Mehrzahl von Strahlern 601, 602, 603, 604 auf, welche auch in größerer oder kleinerer Anzahl vorhanden sein können. Die Strahler 601, 602, 603, 604 können (ohne dass die Erfindung hierauf beschränkt wäre) z.B. als IR-Laser oder IR-LEDs ausgestaltet sein. Die von den Strahlern 601-604 erzeugte elektromagnetische Strahlung trifft gemäß Fig. 6a über ein - optional zur Erzeugung eines kollimierten Strahlengangs vorgesehenes - Mikrolinsen-Array 620 auf eine mit „630“ bezeichnete Strahlformungseinheit und von dieser auf die optische Wirkfläche eines (in Fig. 6a nicht dargestellten) optischen Elements bzw. Spiegels.

**[0050]** Die Strahlformungseinheit 630 weist wenigstens ein mikrostrukturiertes Element, insbesondere diffraktives optisches Element (DOE) oder refraktives optisches Element (ROE), auf. In Ausführungsformen kann die Strahlformungseinheit 630 auch eine Mehrzahl von Strahlformungssegmenten aufweisen, wobei jedes dieser Strahlformungssegmente jeweils einem der Strahler 601-604 zugeordnet sein kann. Diese Strahlformungssegmente bewirken sowohl eine Strahlformung als auch eine Strahlableitung hinsichtlich der auf die optische Wirkfläche des zu heizenden optischen Elements zu lenkenden elektromagnetischen (Heiz-)Strahlung.

**[0051]** Wie in Fig. 6a und Fig. 6b angedeutet, weist das die Strahlformungseinheit 630 bildende DOE separate, voneinander örtlich getrennte Bereiche 631, 632, 633, 634, ... auf. Jeder der separaten Bereiche erzeugt gemäß Fig. 6c eine erste definierte Winkelverteilung 641, 642, 643 bzw. 644 der elektromagnetischen Strahlung im Winkelraum, wobei die besagten Winkelverteilungen für die separaten Bereiche voneinander verschieden sein können. Des Weiteren erzeugt gemäß Fig. 6d jeder der sepa-

raten Bereiche jeweils eine zweite definierte Winkelverteilung 651, 652, 653 bzw. 654 der elektromagnetischen Strahlung im Winkelraum, wobei auch diese zweiten Winkelverteilungen für die separaten Bereiche voneinander verschieden sein können. Die vorstehend genannten ersten bzw. zweiten Winkelverteilungen können übereinstimmende oder auch separate Bereiche im Ortsraum bestrahlen, wobei diese Bereiche grundsätzlich gemäß Fig. 6e (wo exemplarisch Bereiche 661, 671, 664 und 674 skizziert sind) von beliebiger Form sein sowie einander auch überlappen können.

**[0052]** Fig. 7 zeigt eine schematische Darstellung zur Erläuterung von Aufbau und Funktionsweise einer konkreten Ausgestaltung einer Heizanordnung in einer weiteren Ausführungsform der Erfindung.

**[0053]** Gemäß Fig. 7 tritt ein von einer (nicht dargestellten) Strahlungsquelle, bei der es sich lediglich beispielhaft um einen Faserlaser zur Erzeugung von IR-Strahlung mit einer Wellenlänge von z.B. 1070nm handeln kann, erzeugter Strahl an einem mit „701“ bezeichneten Faserende aus und durchläuft zunächst einen optischen Kollimator 705, welcher gemäß Fig. 7 lediglich beispielhaft aus Linsen 706, 707 aufgebaut ist. Der aus dem Kollimator 705 austretende, kollimierte Strahl tritt in eine optische Komponente 710 ein. Dabei kann in Ausführungsformen das Faserende 701 sowohl lateral (d.h. innerhalb der x-y-Ebene bezogen auf das im Bereich des Faserendes 701 eingezeichnete Koordinatensystem) als auch axial (d.h. in z-Richtung bezogen auf dieses Koordinatensystem) justierbar sein.

**[0054]** Eine Funktion der optischen Komponente 710 (welche gemäß Fig. 7 einen Strahlteiler 711 sowie einen Umlenkspiegel 712 umfasst) ist die Bereitstellung zweier jeweils linear polarisierter Teilstrahlen aus dem ursprünglich bei Eintritt in die Komponente 710 noch unpolarisierten Laserstrahl, wobei die besagten linear polarisierten Teilstrahlen für eine hinsichtlich Absorption optimierte Einkopplung von Heizstrahlung in das jeweils zu heizende optische Element (z.B. einen EUV-Spiegel der mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage von Fig. 9) genutzt werden können. Eine solche Erzeugung zweier jeweils linear polarisierter Teilstrahlen über die optische Komponente 710 hat den Vorteil, dass auch bei einer Einkopplung der erzeugten Heizstrahlung unter vergleichsweise großen Einfallswinkeln bezogen auf die jeweilige Oberflächennormale (sogenannter „streifender Einfall“, engl: „grazing incidence“) eine ausreichende Absorption der Heizstrahlung erzielt werden kann. Eine solche Einkopplung der Heizstrahlung mit „streifendem Einfall“ wiederum kann sich in der konkreten Anwendungssituation unter Bauraumaspekten als vorteilhaft oder sogar erforderlich erweisen, wenn - wie häufig der Fall - kein ausreichender Bauraum innerhalb der Projek-

tionsbelichtungsanlage in der zur Oberfläche des zu heizenden optischen Elements senkrechten Richtung zur Verfügung steht. Des Weiteren kann durch besagte Einkopplung der Heizstrahlung unter streifendem Einfall je nach konkreter Anwendungssituation gegebenenfalls sichergestellt werden, dass die Heizanordnung außerhalb des eigentlichen Nutzstrahlengangs angeordnet ist. Ferner kann über die Einkopplung unter streifendem Einfall erreicht werden, dass die Heizstrahlung den betreffenden EUV-Spiegel unter entsprechend großem Winkel verlässt und nicht direkt auf einen unmittelbar benachbarten Spiegel gelenkt wird. Außerdem kann bei geeigneter Polarisation das Auftreten reflektierter IR-Strahlung am EUV-Spiegel reduziert werden.

**[0055]** Die Teilstrahlen von jeweils linearer Polarisation treten gemäß **Fig. 7** entlang der ursprünglichen Lichtausbreitungsrichtung entlang zweier separater paralleler Strahlwege aus der optischen Komponente 710 aus und durchlaufen jeweils nacheinander einen optischen Retarder 721 bzw. 731, ein diffraktives optisches Element (DOE) 722 bzw. 732 sowie ein optisches Teleskop 723 bzw. 733. Über die optischen Retarder 721 bzw. 731 (welche z.B. als Lambda/2-Platten ausgestaltet sein können) kann eine geeignete Einstellung der jeweiligen Polarisationsrichtung erreicht werden. Die DOE's 722 bzw. 732 dienen u.a. als Strahlformungseinheiten zur Aufprägung eines individuellen Heizprofils in das zu heizende optische Element im Wege einer Strahlformung der auf die optische Wirkfläche des optischen Elements zu lenkenden IR-Strahlung. Dabei kann in Ausführungsformen wenigstens eines der beiden DOE's 722 bzw. 732 um die jeweilige Elementachse zu Justagezwecken drehbar angeordnet sein, wie beispielhaft für das Element 732 angedeutet ist. Die optischen Teleskope 723 bzw. 733 sind gemäß **Fig. 7** lediglich beispielhaft aus Linsen 724-726 bzw. 734-736 aufgebaut. Dabei kann in Ausführungsformen in einem der Teleskope 722, 733 oder auch in beiden Teleskopen 722, 733 die im Strahlengang jeweils letzte Linse 726 bzw. 736 durch laterale (d.h. innerhalb der x-y-Ebene bezogen auf das im Bereich der Linsen 726, 736 eingezeichnete Koordinatensystem erfolgende) Verschiebung justierbar sein. Die optischen Teleskope 723 bzw. 733 dienen zur Bereitstellung einer geeigneten zusätzlichen Strahlableitung vor Einkopplung der elektromagnetischen (Heiz-)Strahlung in das zu heizende optische Element bzw. den EUV-Spiegel.

**[0056]** In der Ausführungsform gemäß **Fig. 7** lenken die DOE's 722 bzw. 732 auftreffende elektromagnetische (Heiz-)Strahlung analog zu den vorstehend beschriebenen Ausführungsformen, hier jedoch in Kombination mit den im optischen Strahlengang nachfolgenden Teleskopen 723 bzw. 733, in definierte Positionen im Winkelraum, wobei die entsprechende Verteilung der Strahlung im Winkel- und

Ortsraum durch die Teleskope 723 und 733 übereinstimmen oder auch voneinander verschieden sein kann. Des Weiteren kann jedes der DOE's 722 bzw. 732 einen einzigen Bereich (wie in **Fig. 7** dargestellt) oder auch - insoweit analog zu **Fig. 6a** - mehrere voneinander separate Bereiche aufweisen, wobei wiederum die von besagten Bereichen erzeugten Winkelverteilungen für die DOE's 722, 732 übereinstimmen oder auch voneinander verschieden sein können.

**[0057]** Wenngleich wie zuvor beschrieben die Erzeugung zweier jeweils linear polarisierter Teilstrahlen gemäß dem Aufbau von **Fig. 7** vorteilhaft ist, kann in weiteren Ausführungsformen auch auf den zur Erzeugung des zweiten Teilstrahls verwendeten (durch die Komponenten 712, 731, 732 und 733 gebildeten) optischen Pfad verzichtet werden. Insbesondere kann das Licht in diesem Falle unpolarisiert sein.

**[0058]** Das erfindungsgemäß erfolgende Lenken elektromagnetischer Strahlung über wenigstens eine Strahlformungseinheit zu einer Sensoranordnung kann, wie anhand von **Fig. 8a-8d** veranschaulicht, auch zur Justage und Kontrolle der Einbauposition des die Heizanordnung bildenden optischen Systems bzw. von dessen Komponenten genutzt werden, wobei z.B. ein (beispielsweise thermisch induzierter) Drift diagnostiziert werden kann. In **Fig. 8a-8d** bezeichnen „801“, „802“ und „803“ die durch Ablenkung am Ort der Sensoranordnung erzeugten Lichtflecke, während „811“, „812“ und „813“ Intensitätssensoren der Sensoranordnung bezeichnen. Die Intensitätssensoren 811-813 ermöglichen eine orts aufgelöste Intensitätsmessung, so dass die in **Fig. 8b** (entsprechend einer Dezentrierung), **Fig. 8c** (entsprechend einer Verkipfung) und **Fig. 8d** (entsprechend einer Verdrehung) schematisch angedeuteten Szenarien diagnostiziert werden können. Hierbei ist die durch die Intensitätssensoren 811-813 gebildete Sensoranordnung in unmittelbarer Nähe des zu heizenden optischen Elements bzw. EUV-Spiegels platziert, insbesondere auch auf dem optischen Element selbst in einem außerhalb von dessen Nutzbereich befindlichen Bereich.

**[0059]** 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.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 102017207862 A1 [0009]

## Patentansprüche

1. Heizanordnung zum Heizen eines optischen Elements durch Beaufschlagung mit elektromagnetischer Strahlung, mit

- wenigstens einer Strahlformungseinheit (12, 22, 32, 42, 52, 54) zur Strahlformung der von einer Strahlungsquelle auf das wenigstens eine optische Element (25, 35, 45, 55a, 55b) gelenkten elektromagnetischen Strahlung; und
- einer Sensoranordnung, welche wenigstens einen Intensitätssensor (13, 23, 33a, 33b, 43, 53) aufweist;
- wobei die wenigstens eine Strahlformungseinheit (12, 22, 32, 42, 52, 54) im Betrieb der Heizanordnung einen Teil der elektromagnetischen Strahlung zur Sensoranordnung lenkt.

2. Heizanordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die wenigstens eine Strahlformungseinheit (12, 22, 32, 42, 52, 54) wenigstens ein mikrostrukturiertes Element, insbesondere wenigstens ein diffraktives optisches Element (DOE) oder wenigstens ein refraktives optisches Element (ROE), aufweist.

3. Heizanordnung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die wenigstens eine Strahlformungseinheit (32, 42, 52, 54) eine Mehrzahl von separaten Bereichen (32a, 32b, 42a, 42b, 52a, 52b, 54a, 54b) aufweist, wobei diese separaten Bereiche auftreffende elektromagnetische Strahlung in voneinander verschiedene Richtungen ablenken.

4. Heizanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Sensoranordnung eine Mehrzahl von Intensitätssensoren (33a, 33b) aufweist.

5. Heizanordnung nach Anspruch 3 und 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die separaten Bereiche (32a, 32b) der Strahlformungseinheit (32) elektromagnetische Strahlung zu voneinander verschiedenen Intensitätssensoren (33a, 33b) ablenken.

6. Heizanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass diese eine Mehrzahl von Strahlformungseinheiten (52, 54) zur Beaufschlagung unterschiedlicher optischer Elemente (55a, 55b) aufweist, wobei diese Strahlformungseinheiten (52, 54) im Betrieb der Heizanordnung einen Teil der elektromagnetischen Strahlung zu ein- und derselben Sensoranordnung (53) lenken.

7. Heizanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass diese eine Ansteuerungseinheit zur Ansteuerung

der Strahlungsquelle auf Basis von Signalen der Sensoranordnung aufweist.

8. Heizanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass diese eine Regelungseinheit zur Regelung der Leistung der Strahlungsquelle auf Basis von Signalen der Sensoranordnung aufweist.

9. Heizanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das optische Element (25, 35, 45, 55a, 55b) ein Spiegel ist.

10. Heizanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das optische Element für eine Arbeitswellenlänge von weniger als 30nm, insbesondere weniger als 15nm, ausgelegt ist.

11. Verfahren zum Heizen eines optischen Elements in einem optischen System, insbesondere unter Verwendung einer Heizanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein optisches Element (25, 35, 45, 55a, 55b) mit elektromagnetischer Strahlung einer Strahlungsquelle über wenigstens eine Strahlformungseinheit (12, 22, 32, 42, 52, 54) beaufschlagt wird, wobei ein Teil der elektromagnetischen Strahlung zu einer Sensoranordnung, welche wenigstens einen Intensitätssensor (13, 23, 33a, 33b, 43, 53) aufweist, gelenkt wird, und wobei die Intensität dieses Teils der elektromagnetischen Strahlung von der Sensoranordnung erfasst wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf Basis von Signalen der Sensoranordnung die Leistung der Strahlungsquelle geregelt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf Basis von Signalen der Sensoranordnung eine Justage der verwendeten Heizanordnung vorgenommen wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Heizen des optischen Elements derart erfolgt, dass eine örtliche und/oder zeitliche Variation einer Temperaturverteilung in dem optischen Element (25, 35, 45, 55a, 55b) reduziert wird.

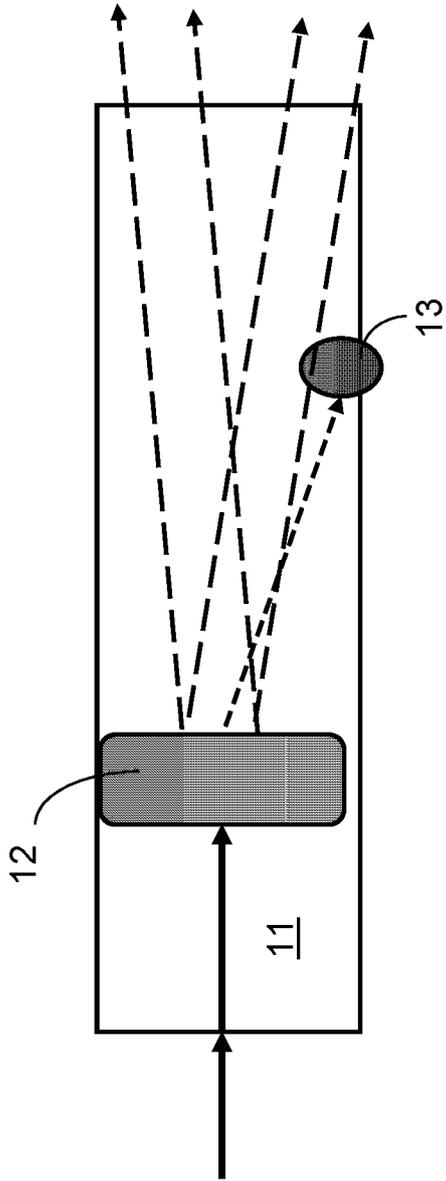
15. Optisches System, insbesondere in einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, mit wenigstens einem optischen Element (25, 35, 45, 55a, 55b) und einer Heizanordnung zum Heizen dieses optischen Elements (25, 35, 45,

55a, 55b), wobei die Heizanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 10 ausgestaltet ist.

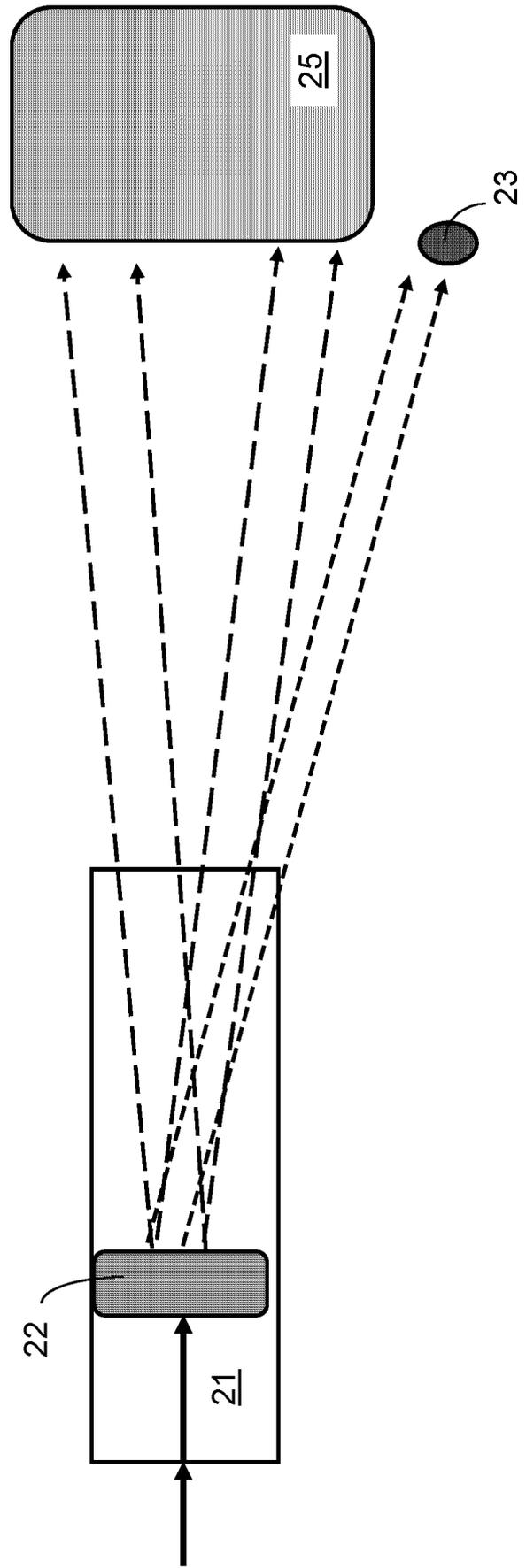
Es folgen 9 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

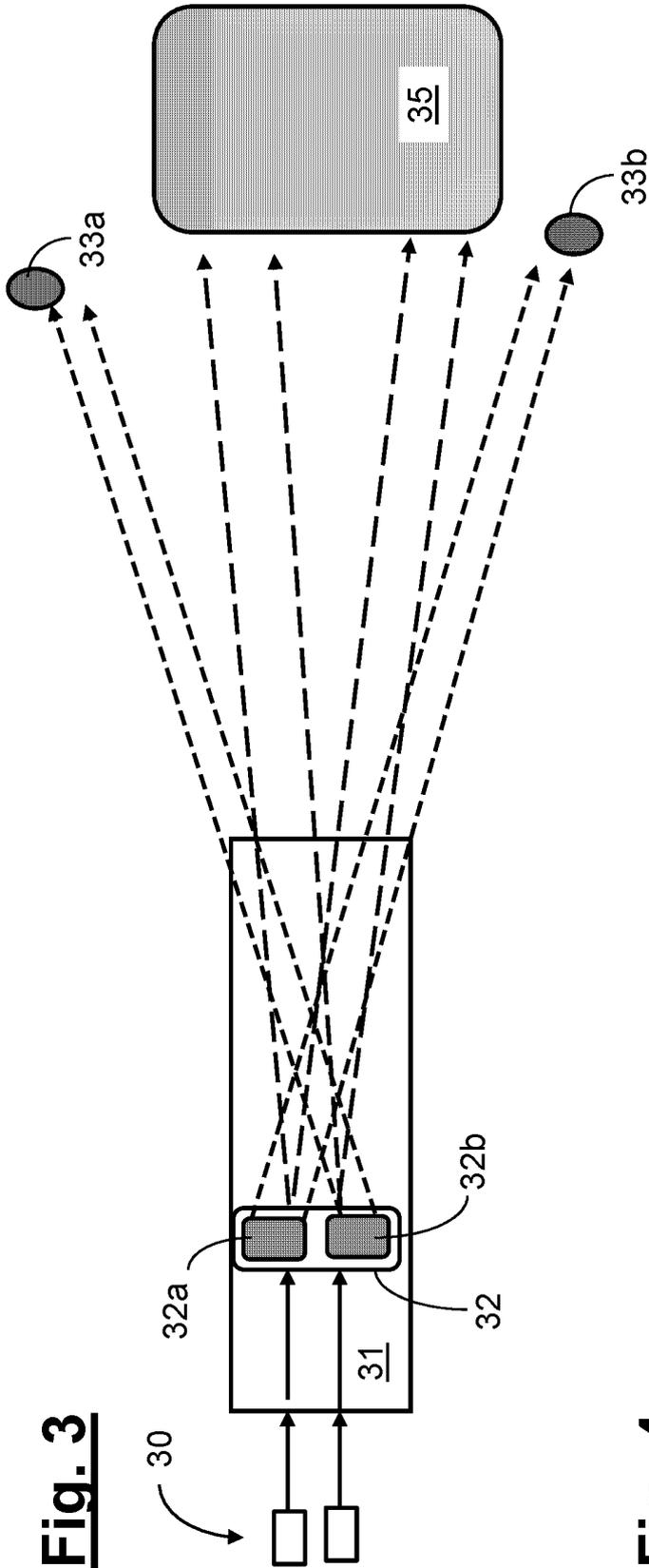
**Fig. 1**



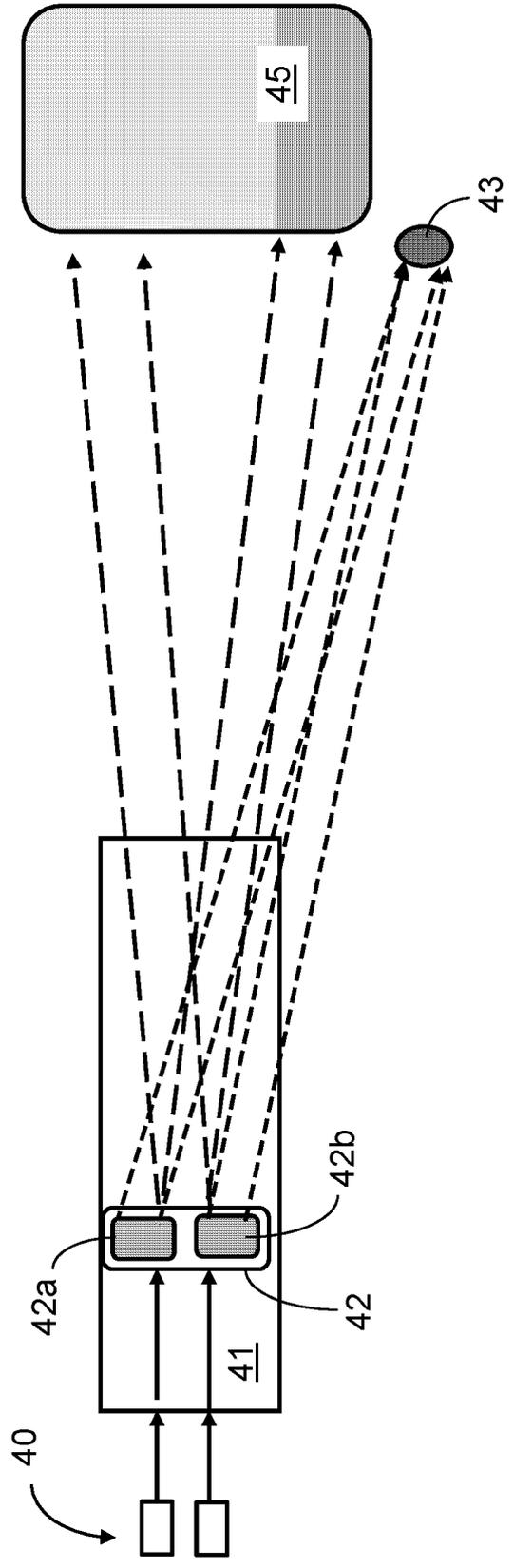
**Fig. 2**



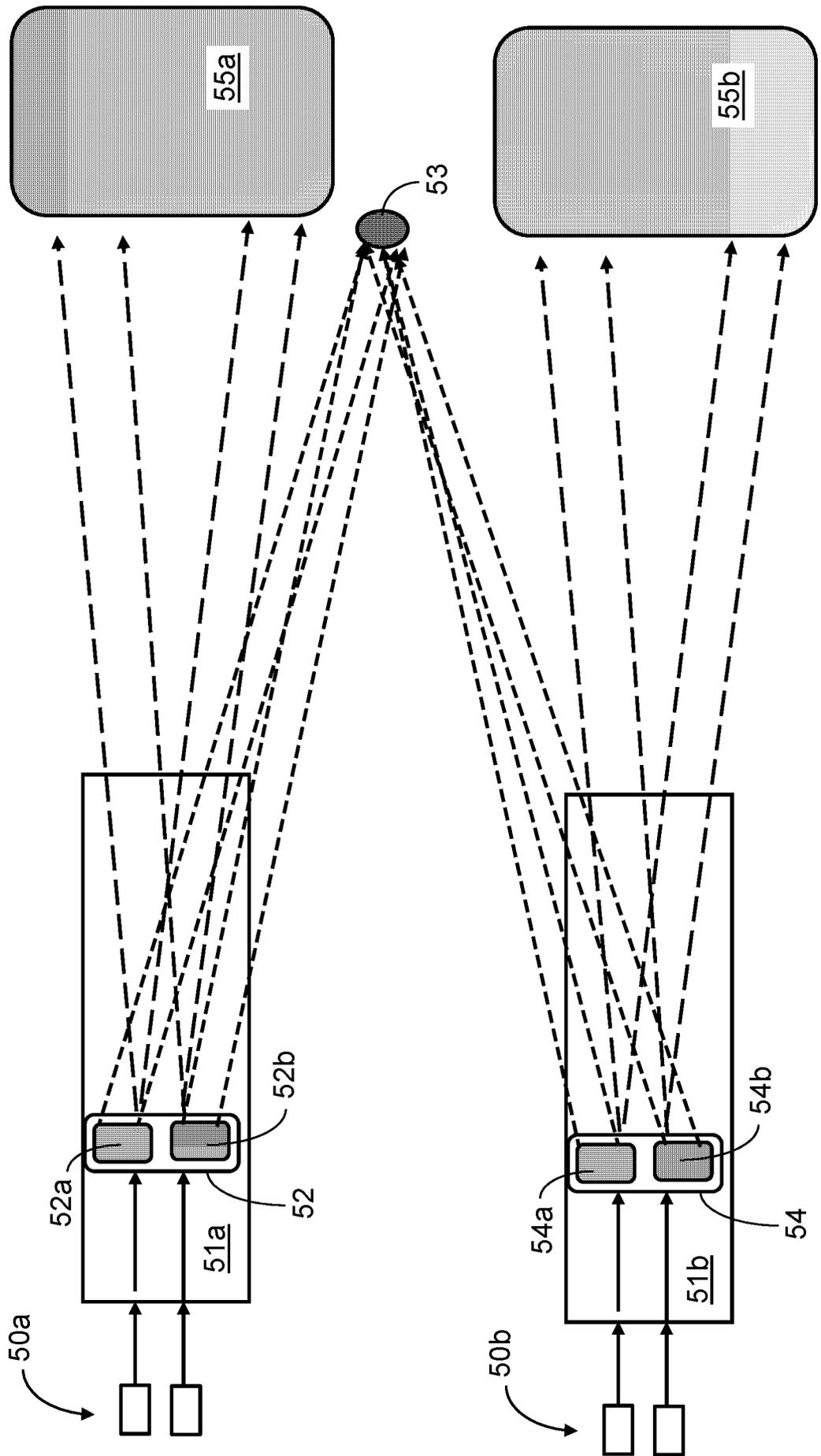
**Fig. 3**



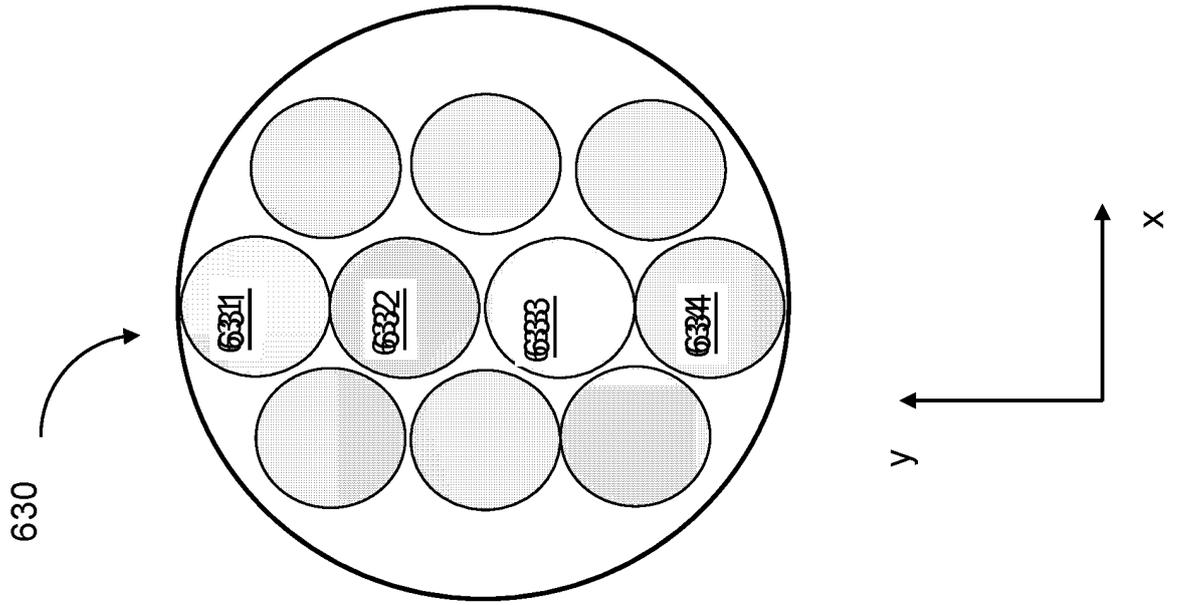
**Fig. 4**



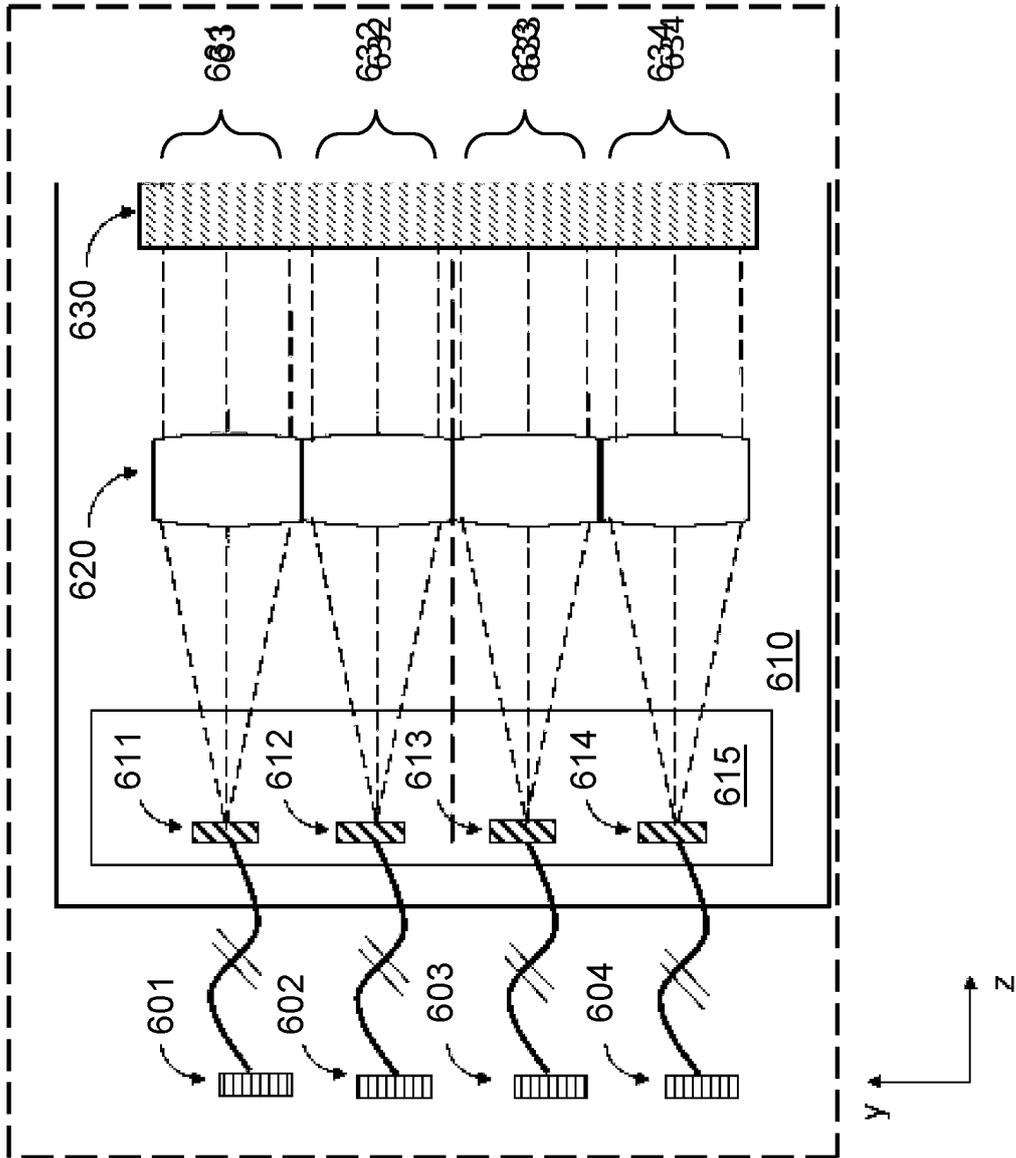
**Fig. 5**



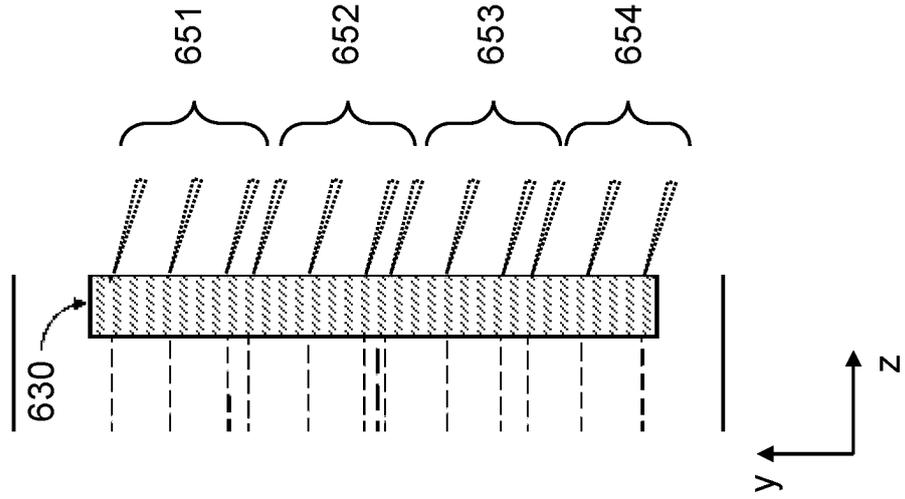
**Fig. 6b**



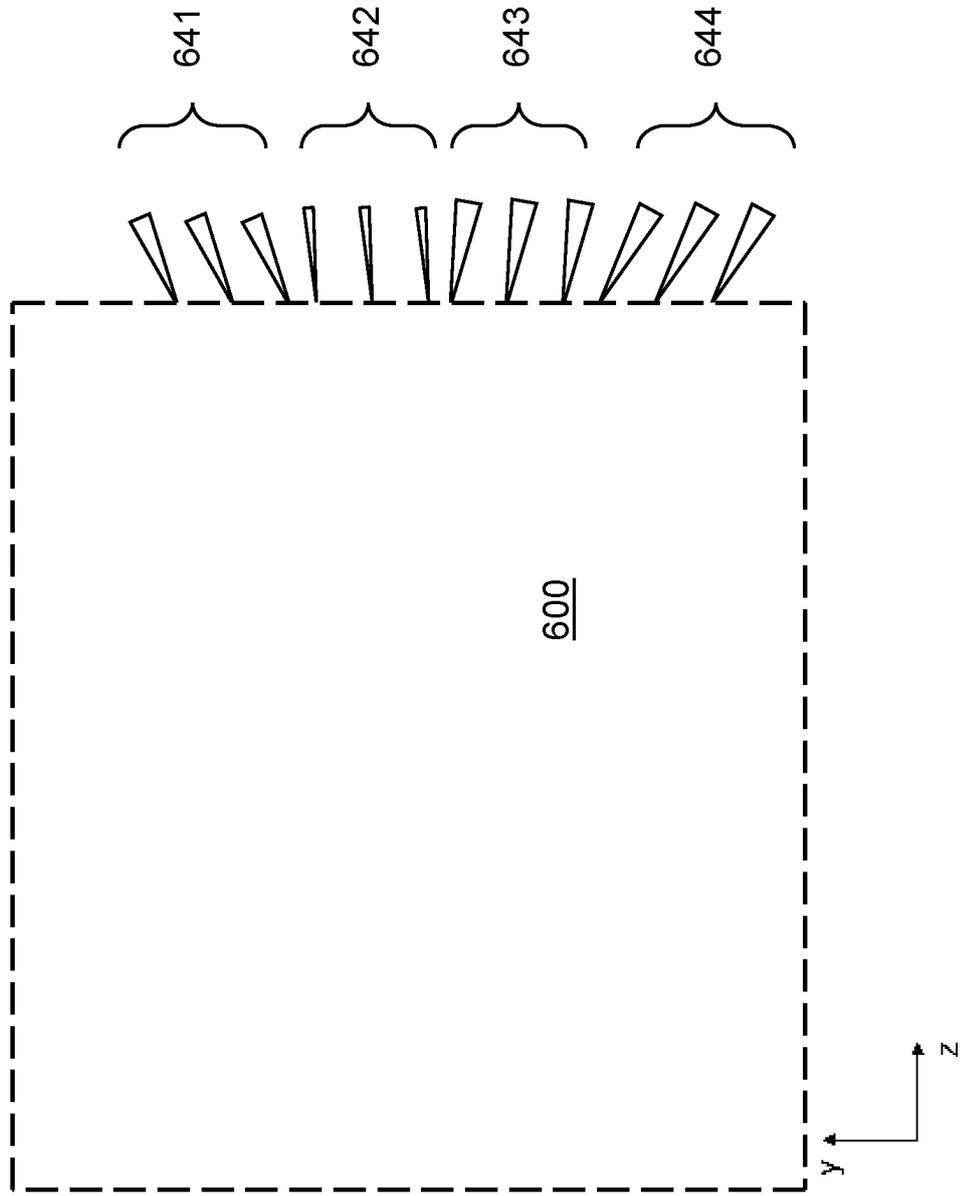
**Fig. 6a**



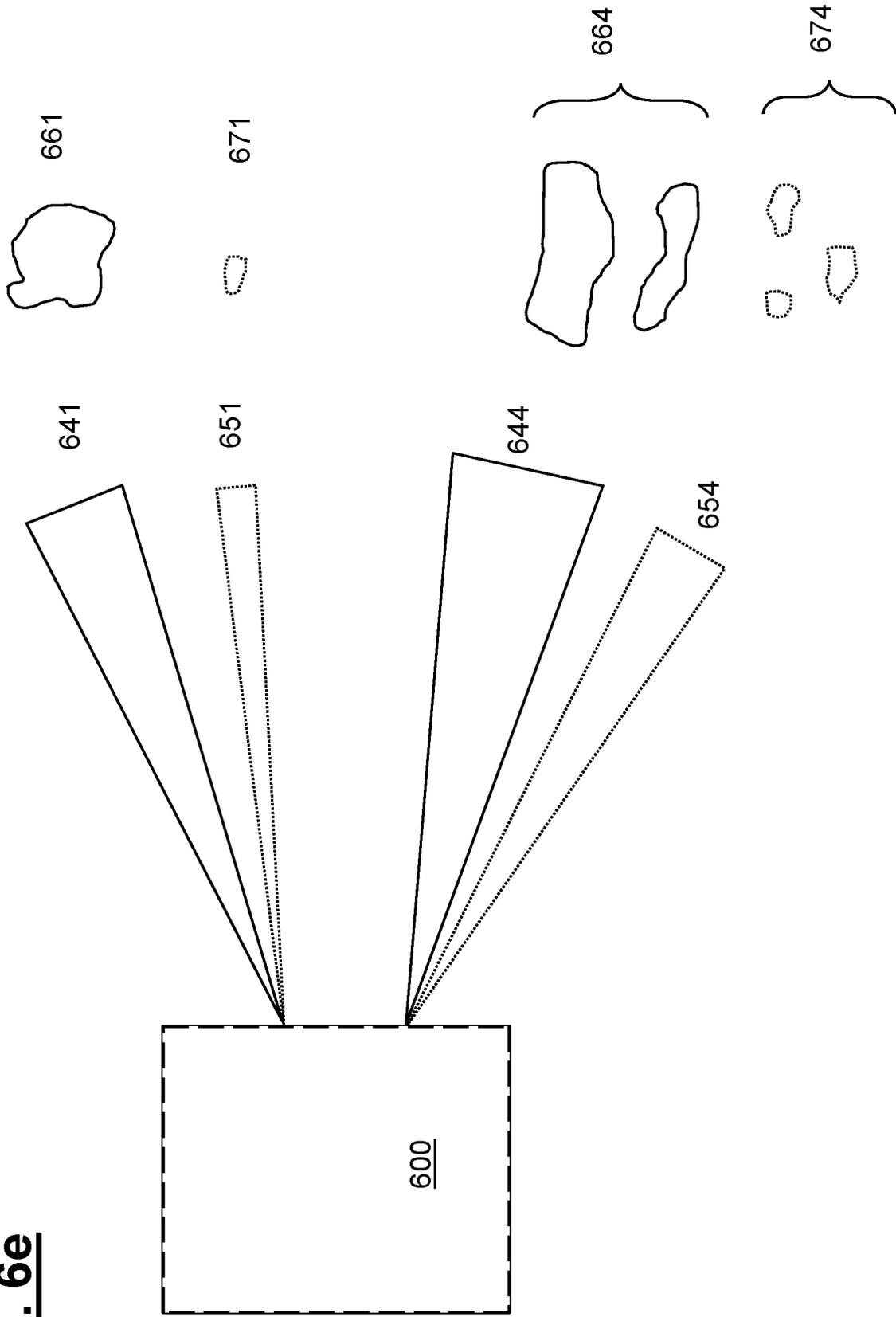
**Fig. 6d**



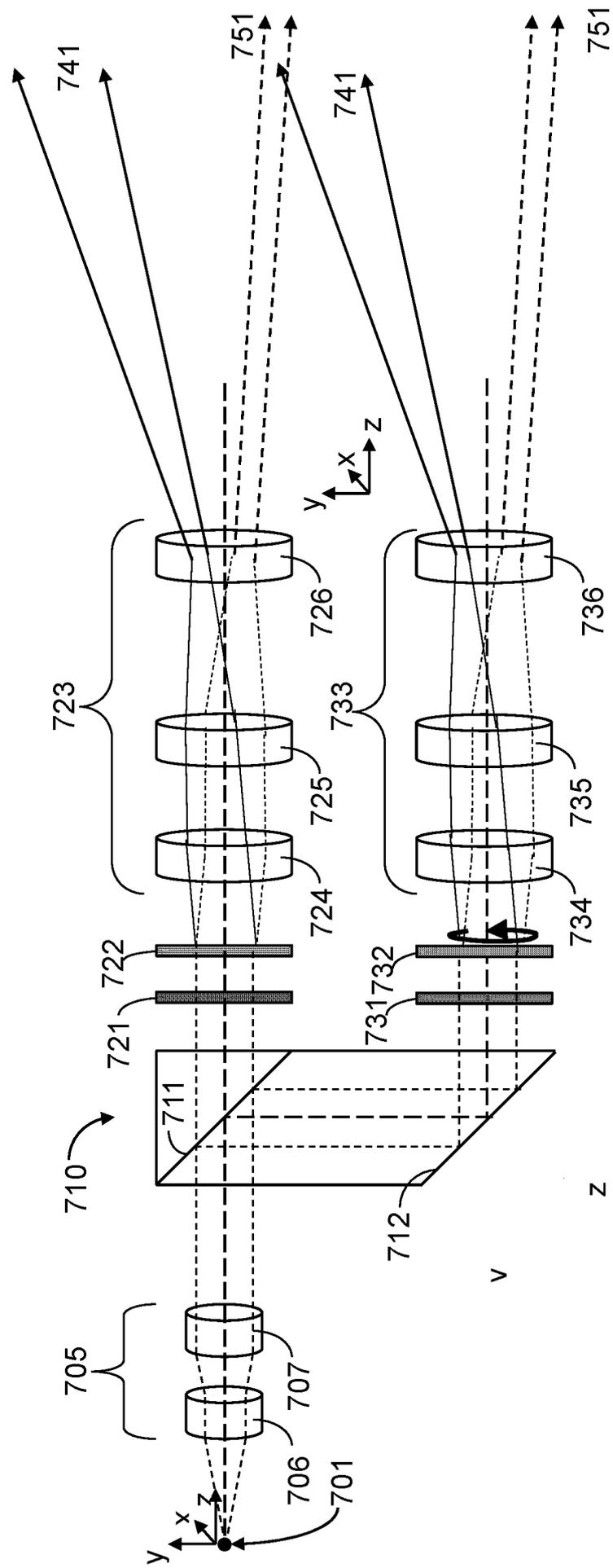
**Fig. 6c**



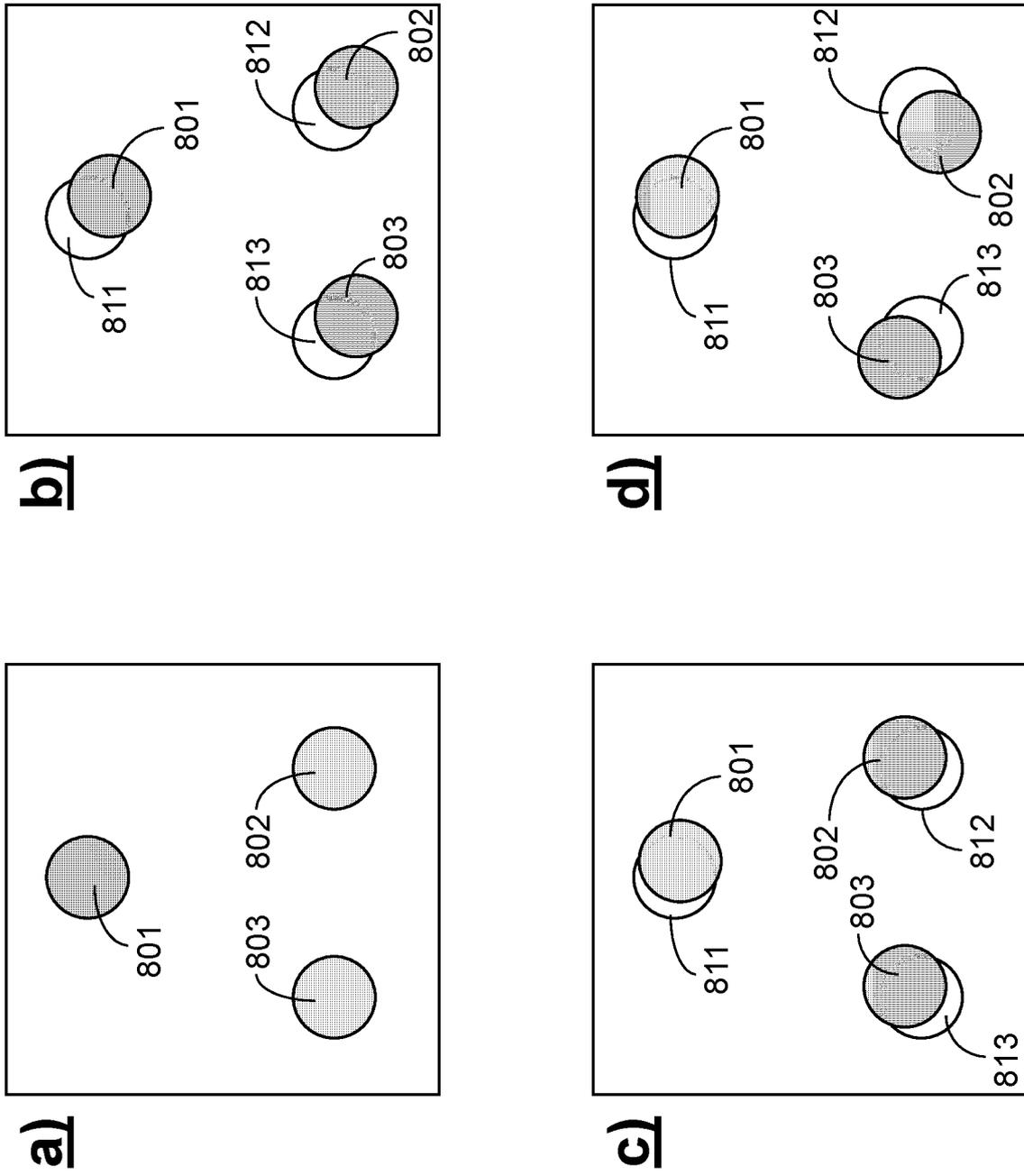
**Fig. 6e**



**Fig. 7**



**Fig. 8**



**Fig. 9**

