(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2015 225 509 A1** 2017.06.22

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2015 225 509.3**
(22) Anmeldetag: **16.12.2015**
(43) Offenlegungstag: **22.06.2017**

(51) Int Cl.: ***G02B 5/08*** (2006.01)
G03F 7/20 (2006.01)

(71) Anmelder:
Carl Zeiss SMT GmbH, 73447 Oberkochen, DE

(72) Erfinder:
Huber, Peter, 89518 Heidenheim, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

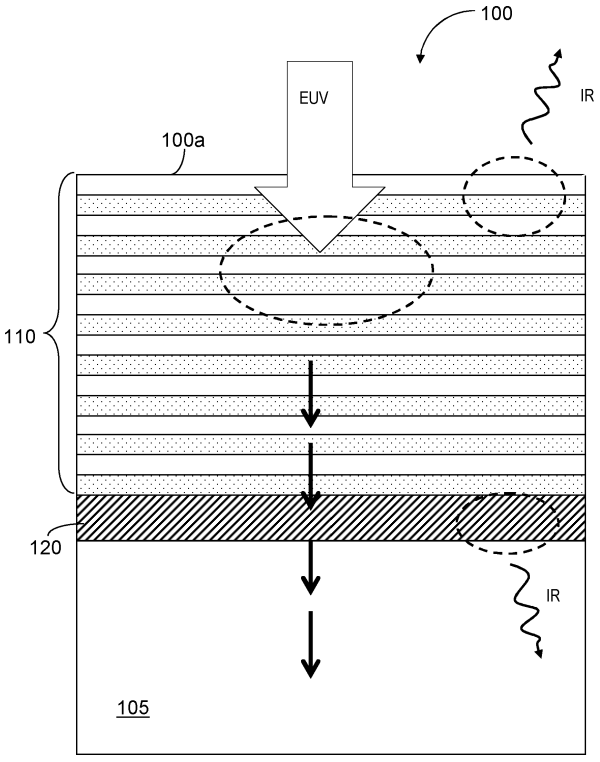
DE	**10 2004 060 184**	**A1**
DE	**10 2009 044 462**	**A1**
DE	**10 2011 080 052**	**A1**
DE	**10 2014 222 534**	**A1**
US	**2007 / 0 259 275**	**A1**
US	**2011 / 0 297 852**	**A1**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Reflektives optisches Element**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein reflektives optisches Element, insbesondere für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage oder eine Maskeninspektionsanlage, wobei das reflektive optische Element eine optische Wirkfläche aufweist, mit einem Substrat (105, 205, 305, 405, 505, 705, 805), einem Reflexionsschichtsystem (110, 210, 310, 410, 510, 710, 810), und wenigstens einer Wärmeabstrahlschicht (120, 220, 320), welche bei Bestrahlung der optischen Wirkfläche (100a, 200a, 300a, 400a, 500a, 700a, 800a) mit elektromagnetischer Strahlung eine Abstrahlung von durch die elektromagnetische Strahlung in dem reflektiven optischen Element induzierter Wärme im Vergleich zu einem analogen Aufbau ohne die Wärmeabstrahlschicht erhöht.



Beschreibung

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Gebiet der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft ein reflektives optisches Element, insbesondere für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage oder für eine Maskeninspektionsanlage.

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] Maskeninspektionsanlagen werden zur Inspektion von Retikeln für mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlagen verwendet.

[0004] In für den EUV-Bereich ausgelegten Projektionsobjektiven oder Inspektionsobjektiven, d.h. bei Wellenlängen von z.B. etwa 13 nm oder etwa 7 nm, werden mangels Verfügbarkeit geeigneter lichtdurchlässiger refraktiver Materialien reflektive optische Elemente als optische Komponenten für den Abbildungsprozess verwendet.

[0005] Ein in der Praxis auftretendes Problem ist, dass diese für den Betrieb im EUV ausgelegten reflektiven optischen Elemente insbesondere infolge der 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. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn Beleuchtungssettings mit vergleichsweise kleinen Beleuchtungspolen (z.B. in Dipol- oder Quadrupol-Beleuchtungssettings) eingesetzt werden, in welchen die Elementerwärmung bzw. -deformation über die optische Wirkfläche des reflektiven optischen Elements hinweg stark variiert.

[0006] Eine Übertragung von für VUV-Lithographiesysteme (mit einer Arbeitswellenlänge z.B. von ca. 200 nm oder ca. 160 nm) bekannten Lösungsansätzen zur Überwindung des vorstehend beschriebenen Problems der Elementerwärmung auf EUV-Systeme gestaltet sich u.a. insofern teilweise als schwierig, als die Anzahl an für eine aktive Deformationskompensation zur Verfügung stehenden optischen Wirkflächen infolge der (zur Vermeidung zu großer Lichtverluste aufgrund der notwendigen Reflexionen) vergleichsweise geringeren Anzahl von optischen Elementen bzw. Spiegeln relativ stark begrenzt ist.

[0007] Zur Überwindung des vorstehend beschriebenen Problems der Elementerwärmung in EUV-Systemen ist es insbesondere bekannt, zusätzliche Vorrichtungen zur Realisierung von Starrkörperbewegungen und/oder Temperaturänderungen im Bereich der optischen Wirkfläche der für den Betrieb im EUV ausgelegten reflektiven optischen Elemente einzusetzen, wodurch jedoch die Komplexität der Systeme erhöht wird.

[0008] Zum Stand der Technik wird lediglich beispielhaft auf DE 10 2010 039 930 A1 verwiesen.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0009] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein reflektives optisches Element, insbesondere für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage oder für eine Maskeninspektionsanlage, bereitzustellen, welches bei vergleichsweise geringem konstruktivem Aufwand eine wirksame Vermeidung oder zumindest Reduzierung thermischer Deformationen bzw. damit einhergehender Beeinträchtigungen des Abbildungsverhaltens ermöglicht.

[0010] Diese Aufgabe wird durch ein reflektive optisches Element gemäß den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche gelöst.

[0011] Ein erfindungsgemäßes reflektives optisches Element, insbesondere für eine mikrolithographische Projektionslichtungsanlage oder für eine Maskeninspektionsanlage, wobei das reflektive optische Element eine optische Wirkfläche aufweist, weist auf:

– ein Substrat;
– ein Reflexionsschichtsystem; und
– wenigstens eine Wärmeabstrahlschicht, welche bei Bestrahlung der optischen Wirkfläche mit elektromagnetischer Strahlung eine Abstrahlung von durch die elektromagnetische Strahlung in dem reflektiven optischen Element induzierter Wärme im Vergleich zu einem analogen Aufbau ohne die Wärmeabstrahlschicht erhöht.

[0012] Der Erfindung liegt insbesondere das Konzept zugrunde, eine unerwünschte thermisch bedingte Deformation eines reflektiven optischen Elements infolge der im Betrieb auftreffenden elektromagnetischen Strahlung dadurch zumindest zu reduzieren, dass ein möglichst effektiver Abtransport von Infrarot

(IR)-Strahlung über eine Wärmeabstrahlschicht bereitgestellt wird.

[0013] Dabei macht sich die Erfindung insbesondere den Umstand zunutze, dass etwa in einem EUV-Spiegel das Substrat bzw. die zu dessen Herstellung typischerweise verwendeten Substratmaterialien für IR-Strahlung zumindest teilweise transparent sind mit der Folge, dass der erfindungsgemäße Wärmeabtransport über die Wärmeabstrahlschicht durch das Substrat hindurch erfolgen kann.

[0014] Durch die Erfindung wird insbesondere dem Umstand Rechnung getragen, dass thermisch bedingte Deformationen auf Seiten des Substrats zum einen (aufgrund der um Größenordnungen höheren Dicke im Vergleich zum Reflexionsschichtsystem) hinsichtlich der beim reflektiven optischen Element auftretenden Wellenfronteffekte besonders problematisch sind und zum anderen auch durch die Auswahl spezieller Substratmaterialien (wie etwa Zerodur® oder ULE®) in der Regel im Betrieb nicht vollständig zu vermeiden sind. Der zuletzt genannte Umstand ist auch darauf zurückzuführen, dass die sogenannte „Zero-Crossing-Temperatur“ (= Null-Durchgangstemperatur), bei welcher der thermische Ausdehnungskoeffizient solcher Substratmaterialien in seiner Temperaturabhängigkeit einen Null-Durchgang aufweist, nicht exakt einstellbar ist, zumal die sich im Betrieb letztlich einstellende Temperatur über die optische Wirkfläche hinweg und damit auch über den Substratquerschnitt variiert.

[0015] Gemäß einer Ausführungsform ist die Wärmeabstrahlschicht auf der dem Substrat zugewandten Seite des Reflexionsschichtsystems angeordnet. Diese Ausgestaltung hat den Vorteil, dass bei Auslegung der Wärmeabstrahlschicht deren Optimierung im Hinblick auf die IR-Abstrahlung – insbesondere in Bezug auf Material und Dicke der Wärmeabstrahlschicht – ohne Rücksicht auf die Abstrahl- bzw. Emissionseigenschaften der Abstrahlschicht für die im Betrieb auf das reflektive optische Element auftreffende elektromagnetische Nutzstrahlung (z.B. EUV-Strahlung im Falle eines EUV-Spiegels) erfolgen kann. Mit anderen Worten können im Falle einer Anordnung der Wärmeabstrahlschicht auf der dem Substrat zugewandten Seite des Reflexionsschichtsystems die Emissions-(und damit auch Absorptions-)Eigenschaften der Wärmeabstrahlschicht für die elektromagnetische Nutzstrahlung bzw. Arbeitswellenlänge außer Acht gelassen werden.

[0016] Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist die Wärmeabstrahlschicht auf der der optischen Wirkfläche zugewandten Seite des Reflexionsschichtsystems angeordnet. In diesem Falle ist die Wärmeabstrahlschicht vorzugsweise derart ausgestaltet, dass die Absorption der im Betrieb auf das reflektive optische Element auftreffenden elektromagnetischen Nutzstrahlung (z.B. EUV-Strahlung im Falle eines EUV-Spiegels) möglichst gering ist.

[0017] Gemäß einer Ausführungsform weist das erfindungsgemäße reflektive optische Element ferner eine Wärmeisolationsschicht auf, welche zwischen Substrat und Reflexionsschichtsystem angeordnet ist. Hierdurch kann erreicht werden, dass die im Betrieb des reflektiven optischen Elements induzierte Wärme im Wesentlichen im Reflexionsschichtsystem verbleibt und somit nicht bis zum Substrat gelangt. Infolgedessen steht zum einen eine größere Zeitspanne für den Wärmeabtransport über die IR-Abstrahlung von der optischen Wirkfläche aus zur Verfügung, und zum anderen wird diese IR-Abstrahlung aufgrund des Temperaturanstiegs in dem Reflexionsschichtsystem unterstützt.

[0018] Dieser Ausgestaltung liegt die weitere Überlegung zugrunde, dass ein Wärmeeintrag in das Reflexionsschichtsystem im Hinblick auf den am reflektiven optischen Element auftretenden Wellenfronteffekt weniger problematisch ist als ein Wärmeeintrag in das Substrat (wo sich eine thermisch induzierte relative Ausdehnung aufgrund der im Vergleich zum Reflexionsschichtsystem um mehrere Größenordnungen höheren absoluten Dicke des Substrats wesentlich gravierender auf den Wellenfronteffekt auswirkt).

[0019] Gemäß einer Ausführungsform weist das reflektive optische Element ferner wenigstens eine poröse Ausgasschicht auf, welche bei Bestrahlung der optischen Wirkfläche mit elektromagnetischer Strahlung zumindest zeitweise in der porösen Ausgasschicht adsorbierte Teilchen freisetzt.

[0020] In dieser Ausführungsform beinhaltet die Erfindung das weitere Konzept, im Betrieb die Erwärmung des reflektiven optischen Elements in der Nähe der optischen Wirkfläche bzw. im Bereich des Reflexionsschichtsystems dadurch zu limitieren, dass die durch die elektromagnetische Strahlung (d.h. während eines Lichtpulses) im reflektiven optischen Element induzierte Wärme zum Teil dazu verwendet wird, in einer eigens hierzu vorgesehenen porösen Ausgasschicht absorbierte Teilchen auszulösen. Dies hat zur Folge, dass entsprechend weniger Energie im oberflächennahen Bereich zur Erwärmung des reflektiven optischen Elements zur Verfügung steht, also auch eine entsprechende Temperaturerhöhung demgemäß geringer ausfällt.

[0021] Bei den adsorbierten Teilchen kann es sich lediglich beispielhaft um eingelagerte Wassermoleküle handeln, wobei die strahlungsinduzierte Wärme dann entsprechend zur Verdunstung des Wassers genutzt wird. In weiteren Ausführungen kann es sich auch um eingelagerte Edelgase (z.B. Argon (Ar)) handeln.

[0022] Bei dem vorstehend beschriebenen Konzept des Einsatzes der porösen Ausgasschicht ist zu beachten, dass im Zeitraum zwischen den auf das reflektive optische Element auftreffenden Lichtpulsen aufgrund der dann stattfindenden erneuten Einlagerung der zuvor absorbierten Teilchen typischerweise wieder Absorptionsenergie bzw. Wärme frei wird. Allerdings findet der zuletzt genannte Effekt auf einer vergleichsweise wesentlich größeren Zeitskala statt, so dass z.B. zwischen den auf das reflektive optische Element auftreffenden Lichtpulsen eine aktive Kühlung des Systems erfolgen kann.

[0023] Im Ergebnis kann mit dem vorstehend beschriebenen Konzept eine Absenkung der maximal auftretenden Peaktemperaturen und damit insbesondere etwa ein Schutz von vergleichsweise temperatursensitiven Schichten bzw. Reflexionsschichtsystemen des reflektiven optischen Elements erreicht werden.

[0024] Die Erfindung betrifft weiter ein reflektives optisches Element, insbesondere für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage oder eine Maskeninspektionsanlage, wobei das reflektive optische Element eine optische Wirkfläche aufweist, mit

– einem Substrat;
– einem Reflexionsschichtsystem; und
– wenigstens einer porösen Ausgasschicht, welche bei Bestrahlung der optischen Wirkfläche mit elektromagnetischer Strahlung zumindest zeitweise in der Ausgasschicht adsorbierte Teilchen freisetzt.

[0025] Gemäß einer Ausführungsform ist diese Ausgasschicht auf der dem Substrat zugewandten Seite des Reflexionsschichtsystems angeordnet.

[0026] Gemäß einer Ausführungsform weist das reflektive optische Element eine erste poröse Ausgasschicht und eine zweite poröse Ausgasschicht auf, wobei die zweite Ausgasschicht derart ausgelegt ist, dass bei Bestrahlung der optischen Wirkfläche mit elektromagnetischer Strahlung von der ersten Ausgasschicht freigesetzte Teilchen in der zweiten Ausgasschicht zumindest zeitweise adsorbiert werden.

[0027] Gemäß einer Ausführungsform weist das reflektive optische Element ferner wenigstens ein Peltierelement auf, welches zwischen dem Substrat und dem Reflexionsschichtsystem angeordnet ist.

[0028] Dieser Ausführungsform liegt das weitere Konzept zugrunde, durch Einsatz eines mit elektrischem Strom beaufschlagbaren Peltierelements zwischen Substrat und Reflexionsschichtsystem im Betrieb je nach Bedarf – z.B. bei einem drohenden Temperaturanstieg des Substrats – eine (insbesondere auch regelbare) aktive Kühlung des Substrats zu erreichen, wobei in diesem Falle entsprechend dem Funktionsprinzip des Peltierelements auf der dem Reflexionsschichtsystem zugewandten Seite ein Temperaturanstieg erfolgt. Dem liegt wiederum die Überlegung zugrunde, dass typischerweise ein Wärmeeintrag in das Reflexionsschichtsystem wie bereits erläutert (aufgrund der um Größenordnungen geringeren Dicke im Vergleich zum Substrat) weniger problematisch ist als ein Wärmeeintrag in das Substrat.

[0029] Die Erfindung betrifft weiter ein reflektives optisches Element, insbesondere für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage oder eine Maskeninspektionsanlage, wobei das reflektive optische Element eine optische Wirkfläche aufweist, mit

– einem Substrat;
– einem Reflexionsschichtsystem; und
– einem Peltierelement, welches zwischen dem Substrat und dem Reflexionsschichtsystem angeordnet ist.

[0030] Gemäß einer Ausführungsform weist das erfindungsgemäße reflektive optische Element ferner eine Wärmepufferschicht auf, welche zwischen dem Substrat und dem Reflexionsschichtsystem angeordnet ist.

[0031] Hierdurch kann erreicht werden, dass die während des Auftreffens von Lichtpulsen in das reflektive optische Element eingebrachte Wärme von dem Reflexionsschichtsystem vergleichsweise schnell an die Wärmepufferschicht **890** weitergegeben wird, so dass ein zu hoher Temperaturanstieg auf Seiten des Reflexionsschichtsystems vermieden und gegebenenfalls temperatursensitive Schichten bzw. Schichtsysteme geschützt werden können. In den Zeitintervallen zwischen den Lichtpulsen kann die Wärme von der Wärmepufferschicht an das Substrat weitergeben werden.

[0032] Gemäß einer Ausführungsform ist das reflektive optische Element für eine Arbeitswellenlänge von weniger als 30nm, insbesondere weniger als 15nm, ausgelegt. Die Erfindung ist jedoch hierauf nicht beschränkt, so dass in weiteren Anwendungen die Erfindung auch in einem optischen System mit einer Arbeitswellenlänge im VUV-Bereich (z.B. von weniger als 200nm oder weniger als 160nm) vorteilhaft realisiert werden kann.

[0033] Bei dem erfindungsgemäßen reflektiven optischen Element kann es sich um einen Spiegel, insbesondere einen Spiegel für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage oder einen Spiegel für eine Maskeninspektionsanlage, handeln. Des Weiteren kann es sich bei dem erfindungsgemäßen reflektiven optischen Element auch um ein Retikel für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage handeln.

[0034] Die Erfindung betrifft weiter ein optisches System einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, insbesondere eine Beleuchtungseinrichtung oder ein Projektionsobjektiv, ein optisches System einer Maskeninspektionsanlage, sowie auch eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage und eine Maskeninspektionsanlage mit wenigstens einem reflektiven optischen Element mit den vorstehend beschriebenen Merkmalen.

[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.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0037] Es zeigen:

[0038] **Fig.** 1 eine schematische Darstellung zur Erläuterung des Aufbaus eines reflektiven optischen Elements gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung;

[0039] **Fig.** 2–**Fig.** 5 schematische Darstellungen zur Erläuterung des Aufbaus eines reflektiven optischen Elements gemäß weiterer Ausführungsformen der Erfindung;

[0040] **Fig.** 6 ein Diagramm zur Erläuterung der Wirkungsweise eines reflektiven optischen Elements gemäß einer weiteren Ausführungsforme der Erfindung; und

[0041] **Fig.** 7 eine schematische Darstellung zur Erläuterung des möglichen Aufbaus einer für den Betrieb im EUV ausgelegten mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG BEVORZUGTER AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0042] **Fig.** 1 zeigt eine schematische Darstellung zur Erläuterung des Aufbaus eines erfindungsgemäßen eines reflektiven optischen Elements in einer ersten Ausführungsform der Erfindung. Das reflektive optische Element **100** umfasst insbesondere ein Substrat **105**, welches aus einem beliebigen geeigneten (Spiegel-)Substratmaterial hergestellt ist. Geeignete Substratmaterialien sind z.B. Titandioxid(TiO_2)-dotiertes Quarzglas, wobei lediglich beispielhaft (und ohne dass die Erfindung hierauf beschränkt wäre) die unter den Markenbezeichnungen ULE® (der Firma Corning Inc.) oder Zerodur® (der Firma Schott AG) vertriebenen Materialien verwendbar sind.

[0043] Des Weiteren weist das reflektive optische Element **100** in grundsätzlich für sich bekannter Weise ein Reflexionsschichtsystem **110** auf, welches in der dargestellten Ausführungsform lediglich beispielhaft einen Molybdän-Silizium(Mo-Si)-Schichtstapel umfasst. Ohne dass die Erfindung auf konkrete Ausgestaltungen dieses Schichtstapels beschränkt wäre, kann ein lediglich beispielhafter geeigneter Aufbau etwa **50** Lagen bzw. Schichtpaketen eines Schichtsystems aus Molybdän(Mo)-Schichten mit einer Schichtdicke von jeweils 2.7nm und Silizium(Si)-Schichten mit einer Schichtdicke von jeweils 3.3nm umfassen. Optional können noch weitere Funktionsschichten, wie beispielsweise eine Deckschicht („Cap-Layer“), eine Substratschutzschicht (SPL = “Substrate Protection Layer“) und/oder Diffusionsbarrieren vorgesehen sein.

[0044] Bei dem reflektiven optischen Element **100** kann es sich insbesondere um ein reflektives optisches Element bzw. einen Spiegel eines optischen Systems, insbesondere des Projektionsobjektivs oder der Beleuchtungseinrichtung einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage oder des Inspektionsobjektivs einer Maskeninspektionsanlage, handeln. Des Weiteren kann das optische Element bzw. das optische System insbesondere für den Betrieb im EUV ausgelegt sein.

[0045] Die im Betrieb des optischen Systems erfolgende Beaufschlagung einer optischen Wirkfläche **100a** des reflektiven optischen Elements **100** mit elektromagnetischer EUV-Strahlung (in **Fig.** 1 durch einen Pfeil angedeutet) hat zur Folge, dass eine Volumenausdehnung sowohl im Reflexionsschichtsystem **110** als auch im Substrat **105** stattfindet, wobei diese Volumenausdehnung je nach Intensitätsverteilung der auftreffenden elektromagnetischen Strahlung (insbesondere also im Falle eines pupillennahen reflektiven optischen Elements abhängig von dem eingestellten Beleuchtungssetting) inhomogen über die optische Wirkfläche **100a** verlaufen kann.

[0046] Um nun die durch besagte Bestrahlung der optischen Wirkfläche **100a** mit elektromagnetischer Strahlung bedingte Deformation des reflektiven optischen Elements **100** insgesamt und insbesondere die Deformation der optischen Wirkfläche **100a** und einen damit im Betrieb des reflektiven optischen Elements **100** einhergehenden Wellenfronteffekt zumindest teilweise zu reduzieren, weist das reflektive optische Element **100** eine Wärmeabstrahlschicht **120** auf, welche sich gemäß **Fig.** 1 auf der der optischen Wirkfläche **100a** abgewandten Seite des Reflexionsschichtsystems **110** befindet.

[0047] Diese Wärmeabstrahlschicht **120** zeichnet sich durch eine vergleichsweise hohe Emissivität für Infrarot(IR)-Strahlung aus, so dass ein Wärmeabtransport über die Wärmeabstrahlschicht **120** durch

das Substrat **105** hindurch stattfindet. Auf Grund dieses Wärmeabtransports steht die entsprechend abgeführte strahlungsinduzierte Wärme nicht mehr für die Erzeugung einer thermisch bedingten Deformation insbesondere des Substrats **105** bzw. der optischen Wirkfläche **100a** zur Verfügung, so dass im Ergebnis eine solche Deformation vermieden oder zumindest reduziert wird.

[0048] Fig. 2 zeigt eine weitere Ausführungsform, wobei zu **Fig.** 1 analoge bzw. im Wesentlichen funktionsgleiche Komponenten mit um „**100**“ erhöhten Bezugsziffern bezeichnet sind. Die Ausführungsform von **Fig.** 2 unterscheidet sich von derjenigen aus **Fig.** 1 dadurch, dass die Wärmeabstrahlschicht **220** auf der der optischen Wirkfläche **200a** zugewandten Seite des Reflexionsschichtsystems **210** angeordnet ist. Vorzugsweise ist die Wärmeabstrahlschicht **220** in dieser Ausführungsform derart ausgestaltet, dass sie zwar eine möglichst hohe Emissivität für die abzuführende IR-Strahlung besitzt, andererseits jedoch für die im Betrieb auf das reflektive optische Element **200** auftreffende elektromagnetische Nutzstrahlung bzw. EUV-Strahlung nur eine geringe Emissivität (da diese gleichbedeutend mit einem geringem Absorptionsvermögen ist) vorliegt.

[0049] Geeignete Materialien für die Wärmeabstrahlschicht **220** bzw. **120** sind z.B. Nioboxid (NbO), Siliziumnitrid (SiN), Zirkonoxid (ZrO) oder amorpher Kohlenstoff (C).

[0050] In Ausführungsformen kann die Wärmeabstrahlschicht **220** bzw. **120** auch eine Dotierung (z.B. einer Silizium(Si)- oder Molybdän(Mo)-Schicht) mit einem oder mehreren der vorstehend genannten Materialien (z.B. eine Dotierung mit 10% Kohlenstoffatomen) aufweisen. Hierdurch kann in erwünschter Weise eine vergleichsweise vernachlässigbare Beeinflussung der Emissionseigenschaften des Reflexionsschichtsystems für die das Nutzlicht bildende EUV-Strahlung bei signifikanter Erhöhung der Emissivität für IR-Strahlung erreicht werden.

[0051] Typische Dicken der Wärmeabstrahlschicht **220** bzw. **120** können je nach Material z.B. im Bereich von 5nm bis 100nm liegen, wobei grundsätzlich die in **Fig.** 1 realisierte Platzierung der Wärmeabstrahlschicht **120** auf der dem Substrat **105** zugewandten Seite des Reflexionsschichtsystems **110** vergleichsweise größere Dicken sowie auch eine größere Flexibilität hinsichtlich der Materialauswahl ermöglicht (da keine Rücksicht auf die in diesem Falle irrelevanten Abstrahl- bzw. Emissionseigenschaften für EUV-Strahlung genommen werden muss).

[0052] Fig. 3 zeigt eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen reflektiven optischen Elements **300**, wobei zu **Fig.** 2 analoge bzw. im Wesentlichen funktionsgleiche Komponenten mit um „**100**“ erhöhten Bezugsziffern bezeichnet sind.

[0053] Die Ausführungsform von **Fig.** 3 unterscheidet sich von derjenigen aus **Fig.** 2 dadurch, dass gemäß **Fig.** 3 eine zusätzliche Wärmeisolationsschicht **330** zwischen dem Reflexionsschichtsystem **310** und dem Substrat **305** angeordnet ist. Hierdurch wird ein längerer Verbleib der strahlungsinduzierten Wärme im Reflexionsschichtsystem **310** erreicht mit der Folge, dass auch eine größere Zeitspanne für den Wärmeabtransport durch die IR-Abstrahlung der Wärmeabstrahlschicht **320** zur Verfügung steht.

[0054] Ein geeignetes Material für die Wärmeisolationsschicht **330** ist z.B. amorphes Quarzglas (SiO_2), wobei deren Dicke im Hinblick auf die Platzierung auf der der optischen Wirkfläche **300a** abgewandten Seite des Reflexionsschichtsystems **310** vergleichsweise unkritisch ist und lediglich beispielhaft im Bereich von einigen 10nm oder einigen 100nm liegen kann.

[0055] Fig. 4 zeigt eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen reflektiven optischen Elements **400**, wobei wiederum zu **Fig.** 3 analog bzw. im Wesentlichen funktionsgleiche Komponenten mit um „**100**“ erhöhten Bezugsziffern bezeichnet sind.

[0056] Gemäß **Fig.** 4 weist das reflektive optische Element **400** im Unterschied zu den vorstehend beschriebenen Ausführungsformen eine poröse Ausgasschicht **440** auf, welche im Ausführungsbeispiel zwischen dem Reflexionsschichtsystem **410** und dem Substrat **405** angeordnet ist. Die Dicke der porösen Ausgasschicht **440** kann lediglich beispielhaft im Bereich von 1µm bis 10µm liegen.

[0057] Die Ausgasschicht **440** dient dazu, Teilchen bzw. Moleküle (z.B. Wasser oder ein Edelgas wie z.B. Argon (Ar)) temporär einzulagern. Eine Freisetzung dieser eingelagerten bzw. absorbierten Teilchen unter Verwendung der bei auf die optische Wirkfläche **400a** auftreffenden Lichtpulsen in das reflektive optische Element **400** eingebrachten Wärme hat zur Folge, dass entsprechend weniger Energie im oberflächennahen Bereich des reflektiven optischen Elements **400** (d.h. in Nähe der optischen Wirkfläche **400a**) zur Verfügung steht und somit auch eine Temperaturerhöhung insbesondere des Reflexionsschichtsystems **410** im Vergleich zu einem analogen Aufbau ohne die Ausgasschicht **440** geringer ausfällt.

[0058] Zwar findet zwischen aufeinanderfolgenden Lichtpulsen eine erneute Einlagerung von zuvor desorbierten Teilchen in der Ausgasschicht **440** unter Freisetzung von Absorptionsenergie statt. Im Ergebnis kann jedoch eine Absenkung der maximal auftretenden Peaktemperaturen und somit ein Schutz insbesondere von temperaturempfindlichen Reflexionsschichtsystemen **410** erreicht werden. Dies ist in

Fig. 6 anhand eines Vergleichs zweier typischer Verläufe für die Zeitabhängigkeit der Temperaturerhöhung ΔT im oberflächennahen Bereich ohne (Kurve „A“) bzw. mit (Kurve „B) Vorhandensein der Ausgasschicht **440** angedeutet.

[0059] Wie aus **Fig.** 4 ferner ersichtlich, weist das reflektive optische Element **400** im Ausführungsbeispiel ferner Defekte **460** auf, welche ein Austreten der ausgelösten bzw. desorbierten Teilchen ermöglichen. Derartige Defekte **460** können in beliebiger geeigneter Weise, z.B. in Form von Kohlenstoff-Nanoröhren, durch ein geeignetes Ätzverfahren etc. bereitgestellt werden.

[0060] **Fig.** 5 zeigt eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen reflektiven optischen Elements **500**, wobei zu **Fig.** 4 analoge bzw. im Wesentlichen funktionsgleiche Komponenten mit um „**100**“ erhöhten Bezugsziffern bezeichnet sind.

[0061] Die Ausführungsform von **Fig.** 5 unterscheidet sich von derjenigen aus **Fig.** 4 dadurch, dass zusätzlich zur Ausgasschicht **550** auf deren dem Substrat **505** zugewandter Seite eine weitere Ausgasschicht **570** vorgesehen ist. In dieser weiteren Ausgasschicht **570** können die aus der Ausgasschicht **550** wie vorstehend beschrieben ausgetriebenen Teilchen zwischengespeichert werden, so dass in dieser Ausführungsform gegebenenfalls auf die im reflektiven optischen Element **400** von **Fig.** 4 vorhandenen Defekte **460** verzichtet werden kann.

[0062] Bei den Ausführungsformen von **Fig.** 4 und **Fig.** 5 kann jeweils zwischen aufeinanderfolgenden Lichtpulsen eine aktive Kühlung erfolgen, um die mit der Freisetzung von Absorptionsenergie anfallende Wärme entsprechend abzutransportieren.

[0063] **Fig.** 7 zeigt eine entsprechende weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen reflektiven optischen Elements **700**, wobei zu **Fig.** 4 analoge bzw. im Wesentlichen funktionsgleiche Komponenten mit um „**100**“ erhöhten Bezugsziffern bezeichnet sind. In dieser Ausführungsform ist zwischen dem Substrat **705** und dem Reflexionsschichtsystem **710** ein Peltierelement **780** angeordnet, welches aus Peltierschichten **781**, **782** aufgebaut und über Elektroden (nicht eingezeichnet) mit elektrischem Strom beaufschlagbar ist.

[0064] Auf diese Weise kann eine Kühlung des Substrats **705** auf Kosten einer Erwärmung des Reflexionsschichtsystems **710** erzielt werden, wobei wiederum der bereits eingangs erläuterte Umstand ausgenutzt wird, dass je nach konkreten Aufbau des reflektiven optischen Elements ein Wärmeeintrag in das Reflexionsschichtsystem im Vergleich zu einem Wärmeeintrag in das Substrat vergleichsweise unproblematisch ist.

[0065] Der vorstehend beschriebene Einsatz eines Peltierelements **780** kann insbesondere auch vorteilhaft mit dem Vorhandensein einer Wärmeabstrahlschicht **220** bzw. **320** z.B. gemäß **Fig.** 2 oder **Fig.** 3 kombiniert werden, da auf diese Weise die durch das Peltierelement **780** zusätzlich in das Reflexionsschichtsystem **210** bzw. **310** eingebrachte Wärme effektiv abtransportiert werden kann.

[0066] **Fig.** 8 zeigt eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen reflektiven optischen Elements **800**, wobei zu **Fig.** 7 analoge bzw. im Wesentlichen funktionsgleiche Komponenten mit um „**100**“ erhöhten Bezugsziffern bezeichnet sind.

[0067] Gemäß **Fig.** 8 weist das erfindungsgemäße reflektive optische Element **800** eine Wärmepufferschicht **890** auf, welche zwischen Reflexionsschichtsystem **810** und Substrat **805** angeordnet sein kann und eine vergleichsweise hohe Wärmekapazität besitzt. Hierdurch kann erreicht werden, dass die während des Auftreffens von Lichtpulsen in das reflektive optische Element **800** eingebrachte Wärme von dem Reflexionsschichtsystem **810** vergleichsweise schnell an die Wärmepufferschicht **890** weitergegeben wird, so dass ein ausgeprägter Temperaturanstieg auf Seiten des Reflexionsschichtsystems **810** vermieden (und wiederum analog etwa zu **Fig.** 4 bis **Fig.** 6 gegebenenfalls temperatursensitive Schichten bzw. Schichtsysteme geschützt werden können). Durch diese Ausgestaltung kann dem Umstand Rechnung getragen werden, dass typische Substratmaterialien i.d.R. eine vergleichsweise geringe Wärmeleitfähigkeit aufweisen, so dass ein hierdurch bedingter Wärmestau innerhalb des Reflexionsschichtsystems im Falle temperatursensitiver Schichten zu einer Schädigung des Schichtaufbaus führen kann.

[0068] In Zeitintervallen zwischen den Lichtpulsen kann die Wärme von der Wärmepufferschicht **890** an das Substrat **805** weitergeben werden. Infolge des Wärmeabtransports über die vorstehend beschriebene Wärmepufferschicht **890** kann eine Absenkung der im Bereich des Reflexionsschichtsystems **810** auftretenden Peaktemperaturen erreicht werden. Die Wärmepufferschicht **890** kann z.B. ein Material aufweisen, welches bei der Betriebstemperatur einen Phasenübergang zeigt, wobei in diesem Falle eine besonders effiziente Zwischenspeicherung der Wärme aufgrund der stattfindenden Phasenumwandlung erzielt werden kann.

[0069] Wenngleich die vorstehend beschriebenen Ausführungsformen jeweils einen Spiegel mit einem Reflexionsschichtsystem in Form eines Vielfachschichtsystems bzw. Schichtstapels (z.B. aus Molybdän(Mo)- und Silizium(Si)-Schichten) zeigen, ist die Erfindung hierauf nicht beschränkt. In weiteren Ausführungsformen kann es sich bei dem Reflexionsschichtsystem auch um eine Einzelschicht, z.B. ei-

ne Ruthenium(Ru)-Schicht eines für den Betrieb unter streifendem Einfall ausgelegten Spiegels handeln (auch als GI-Spiegel bezeichnet, GI = „grazing incidence“ = streifender Einfall).

[0070] Fig. 9 zeigt eine schematische Darstellung einer beispielhaften für den Betrieb im EUV ausgelegten Projektionsbelichtungsanlage, in welcher die vorliegende Erfindung realisierbar ist. Gemäß **Fig.** 9 weist eine Beleuchtungseinrichtung in einer für EUV ausgelegten Projektionsbelichtungsanlage **900** 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 **951**–**956** umfassenden Projektionsobjektivs lenkt. Am Ort des Objektfeldes ist eine reflektive strukturtragende Maske **921** auf einem Maskentisch **920** angeordnet, die mit Hilfe des Projektionsobjektivs in eine Bildebene abgebildet wird, in welcher sich ein mit einer lichtempfindlichen Schicht (Photoresist) beschichtetes Substrat **961** auf einem Wafertisch **960** befindet.

[0071] Von den Spiegeln **951**–**956** des Projektionsobjektivs können insbesondere die – bezogen auf den optischen Strahlengang im Anfangsbereich des Projektionsobjektivs angeordneten – Spiegel **951** und **952** in der erfindungsgemäßen Weise ausgestaltet sein, da der erfindungsgemäß erzielte Effekt infolge der an diesen Spiegeln **951**, **952** aufgrund der noch vergleichsweise geringen aufsummierten Reflexionsverluste und damit der relativ hohen Lichtintensitäten dann besonders ausgeprägt ist. Die Erfindung ist jedoch nicht auf die Anwendung auf diese Spiegel **951**, **952** beschränkt, so dass grundsätzlich auch andere Spiegel in der erfindungsgemäßen Weise ausgestaltet werden können.

[0072] 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 102010039930 A1 [0008]

Patentansprüche

1. Reflektives optisches Element, insbesondere für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage oder eine Maskeninspektionsanlage, wobei das reflektive optische Element eine optische Wirkfläche (**100a**, **200a**, **300a**, **400a**, **500a**, **700a**, **800a**) aufweist, mit
• einem Substrat (**105**, **205**, **305**, **305**, **405**, **505**, **705**, **805**);
• einem Reflexionsschichtsystem (**110**, **210**, **310**, **410**, **510**, **710**, **810**); und
• wenigstens einer Wärmeabstrahlschicht (**120**, **220**, **320**), welche bei Bestrahlung der optischen Wirkfläche (**100a**, **200a**, **300a**, **400a**, **500a**, **700a**, **800a**) mit elektromagnetischer Strahlung eine Abstrahlung von durch die elektromagnetische Strahlung in dem reflektiven optischen Element induzierter Wärme im Vergleich zu einem analogen Aufbau ohne die Wärmeabstrahlschicht erhöht.

2. Reflektives optisches Element nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Wärmeabstrahlschicht (**120**) auf der dem Substrat (**105**) zugewandten Seite des Reflexionsschichtsystems (**110**) angeordnet ist.

3. Reflektives optisches Element nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Wärmeabstrahlschicht (**220**, **320**) auf der der optischen Wirkfläche (**200a**, **300a**) zugewandten Seite des Reflexionsschichtsystems (**210**, **310**) angeordnet.

4. Reflektives optisches Element nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,** dass dieses ferner eine Wärmeisolationsschicht (**330**) aufweist, welche zwischen dem Substrat (**305**) und dem Reflexionsschichtsystem (**310**) angeordnet ist.

5. Reflektives optisches Element nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet,** dass diese Wärmeisolationsschicht (**330**) Quarz aufweist.

6. Reflektives optisches Element nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,** dass dieses ferner wenigstens eine poröse Ausgasschicht (**450**, **550**) aufweist, welche bei Bestrahlung der optischen Wirkfläche (**400a**, **500a**) mit elektromagnetischer Strahlung zumindest zeitweise in der porösen Ausgasschicht (**450**, **550**) adsorbierte Teilchen freisetzt.

7. Reflektives optisches Element, insbesondere für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage oder eine Maskeninspektionsanlage, wobei das reflektive optische Element eine optische Wirkfläche (**400a**, **500a**) aufweist, mit
• einem Substrat (**405**, **505**);
• einem Reflexionsschichtsystem (**410**, **510**); und
• wenigstens einer porösen Ausgasschicht (**450**, **550**), welche bei Bestrahlung der optischen Wirkfläche (**400a**, **500a**) mit elektromagnetischer Strahlung zumindest zeitweise in der Ausgasschicht (**450**, **550**) adsorbierte Teilchen freisetzt.

8. Reflektives optisches Element nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet,** dass diese Ausgasschicht (**450**, **550**) auf der dem Substrat (**405**, **505**) zugewandten Seite des Reflexionsschichtsystems (**410**, **510**) angeordnet ist.

9. Reflektives optisches Element nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,** dass dieses eine erste poröse Ausgasschicht (**550**) und eine zweite poröse Ausgasschicht (**570**) aufweist, wobei die zweite Ausgasschicht (**570**) derart ausgelegt ist, dass bei Bestrahlung der optischen Wirkfläche (**500a**) mit elektromagnetischer Strahlung von der ersten Ausgasschicht (**550**) freigesetzte Teilchen in der zweiten Ausgasschicht (**5570**) zumindest zeitweise adsorbiert werden.

10. Reflektives optisches Element nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,** dass dieses ferner ein Peltierelement (**780**) aufweist, welches zwischen dem Substrat (**705**) und dem Reflexionsschichtsystem (**710**) angeordnet ist.

11. Reflektives optisches Element, insbesondere für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage oder eine Maskeninspektionsanlage, wobei das reflektive optische Element eine optische Wirkfläche (**700a**) aufweist, mit
• einem Substrat (**705**);
• einem Reflexionsschichtsystem (**710**); und
• einem Peltierelement (**780**), welches zwischen dem Substrat (**705**) und dem Reflexionsschichtsystem (**710**) angeordnet ist.

12. Reflektives optisches Element nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,** dass dieses ferner eine Wärmepufferschicht (**890**) aufweist, welche zwischen dem Substrat (**805**) und dem Reflexionsschichtsystem (**810**) angeordnet ist.

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

14. Reflektives optisches Element nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet,** dass das reflektive optische Element ein Spiegel, insbesondere ein Spiegel für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage oder ein Spiegel für eine Maskeninspektionsanlage, ist.

15. Optisches System, mit wenigstens einem reflektiven optischen Element nach einem der Ansprüche 1 bis 14.

16. Optisches System nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet,** dass auf der dem Reflexionsschichtstapel abgewandten Seite des Substrats ferner eine Wärmesenke angeordnet ist.

17. Optisches System nach Anspruch 15 oder 16, **dadurch gekennzeichnet,** dass dieses ein optisches System einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage (**900**), insbesondere eine Beleuchtungseinrichtung oder ein Projektionsobjektiv, ist.

18. Optisches System nach Anspruch 15 oder 16, **dadurch gekennzeichnet,** dass dieses ein optisches System einer Maskeninspektionsanlage, insbesondere eine Beleuchtungseinrichtung oder ein Inspektionsobjektiv, ist.

19. Mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage (**900**) mit einer Beleuchtungseinrichtung und einem Projektionsobjektiv, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Projektionsbelichtungsanlage ein reflektives optisches Element nach einem der Ansprüche 1 bis 14 aufweist.

20. Maskeninspektionsanlage mit einer Beleuchtungseinrichtung und einem Inspektionsobjektiv, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Maskeninspektionsanlage ein reflektives optisches Element nach einem der Ansprüche 1 bis 14 aufweist.

Es folgen 9 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

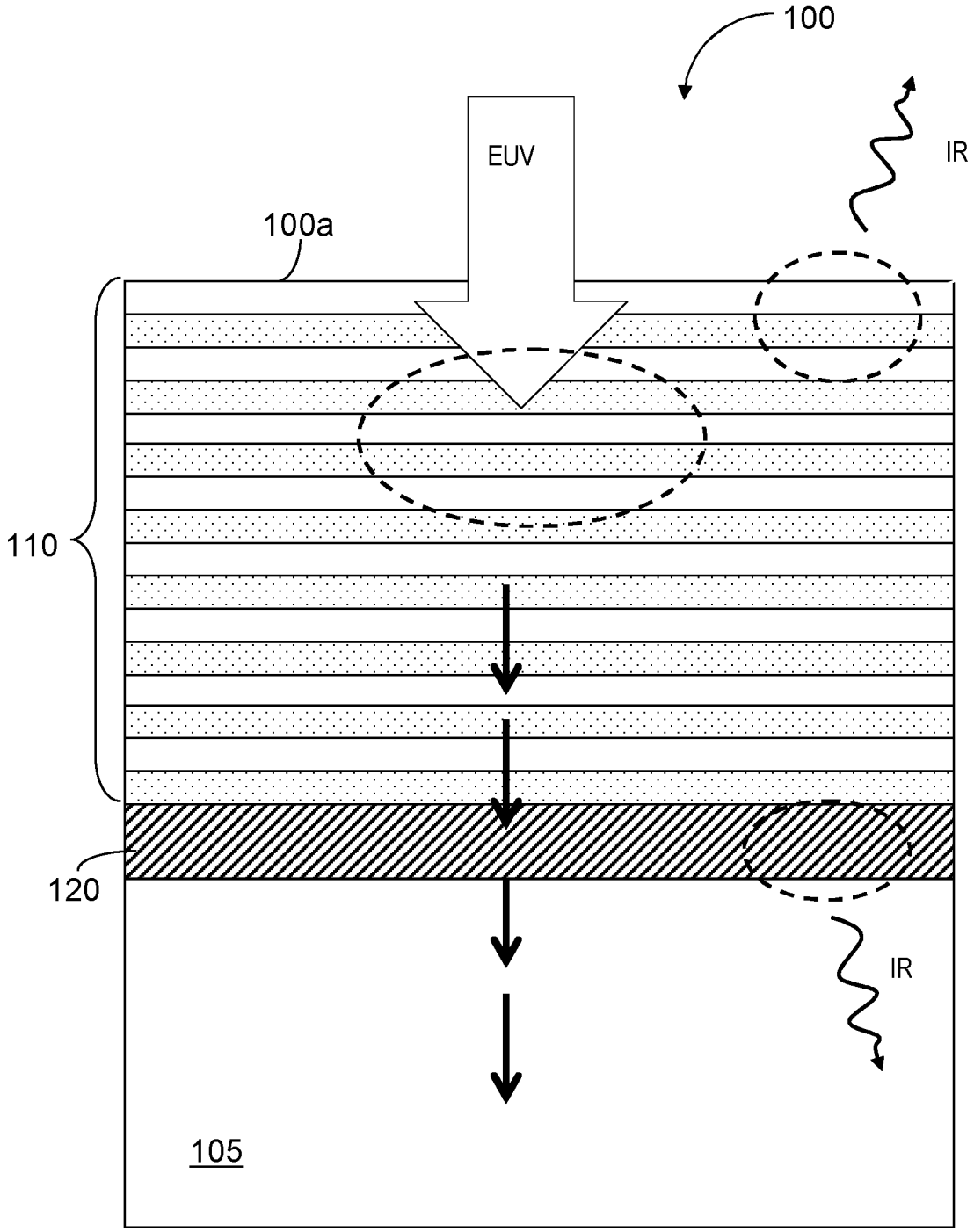


Fig. 2

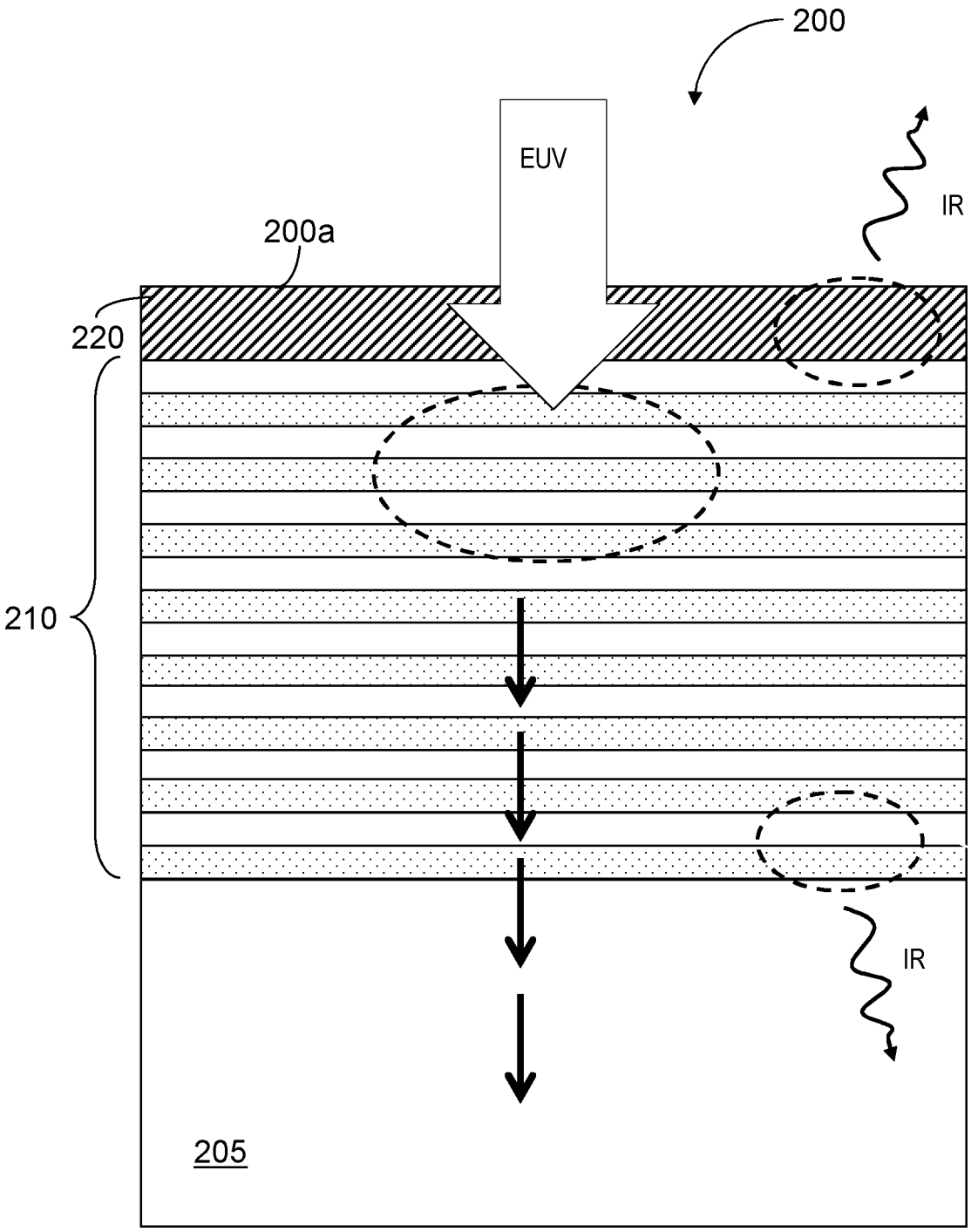


Fig. 3

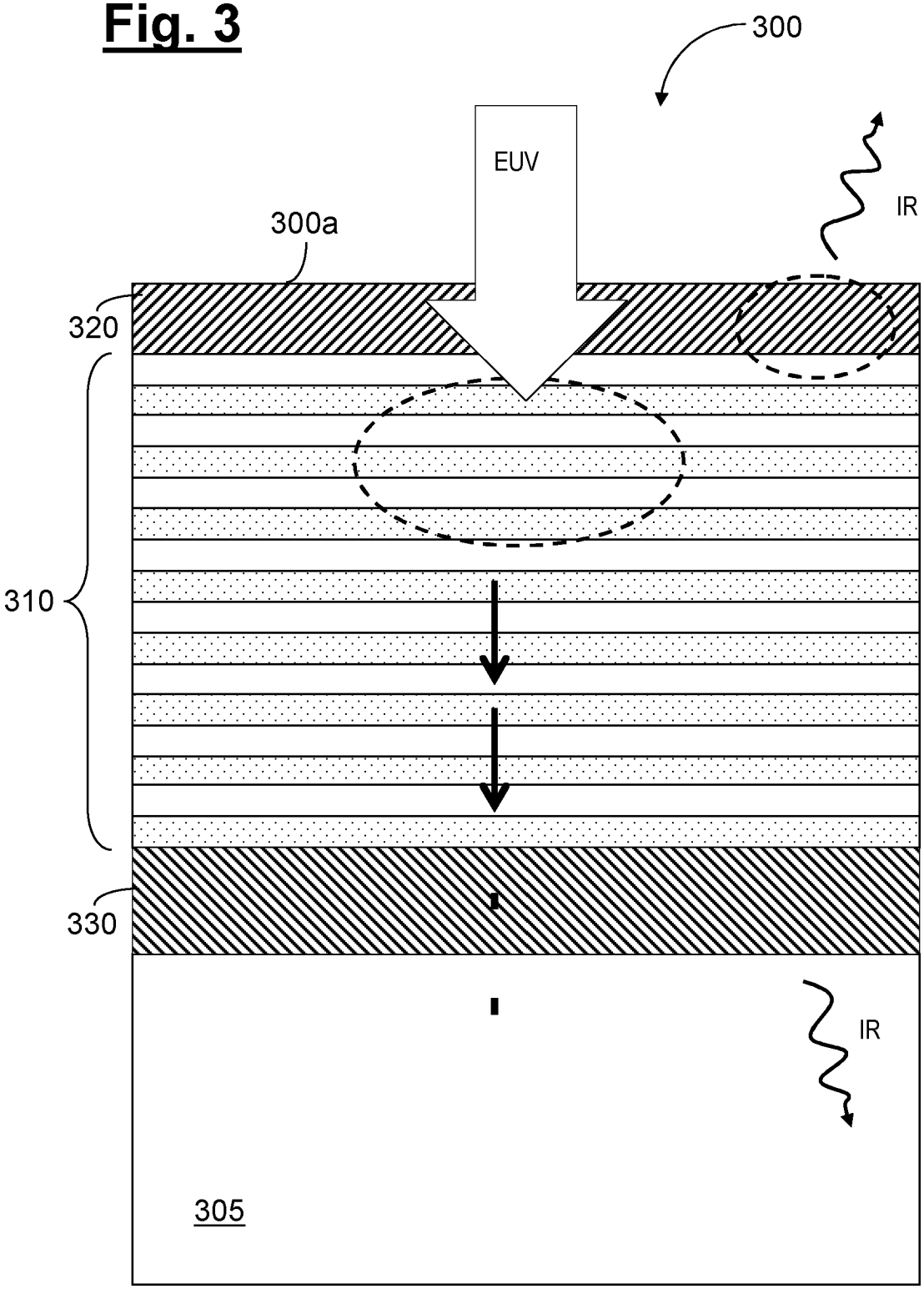


Fig. 4

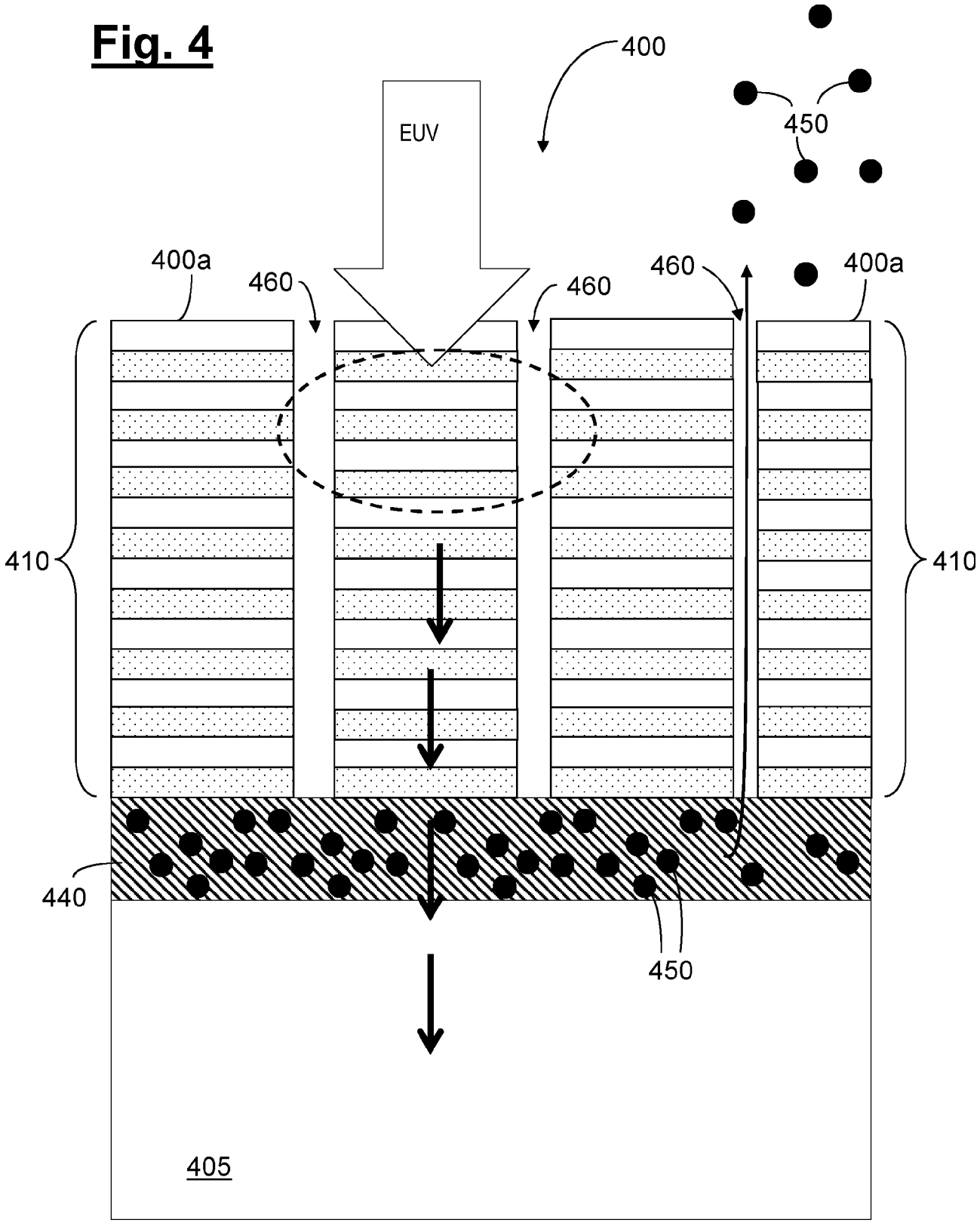
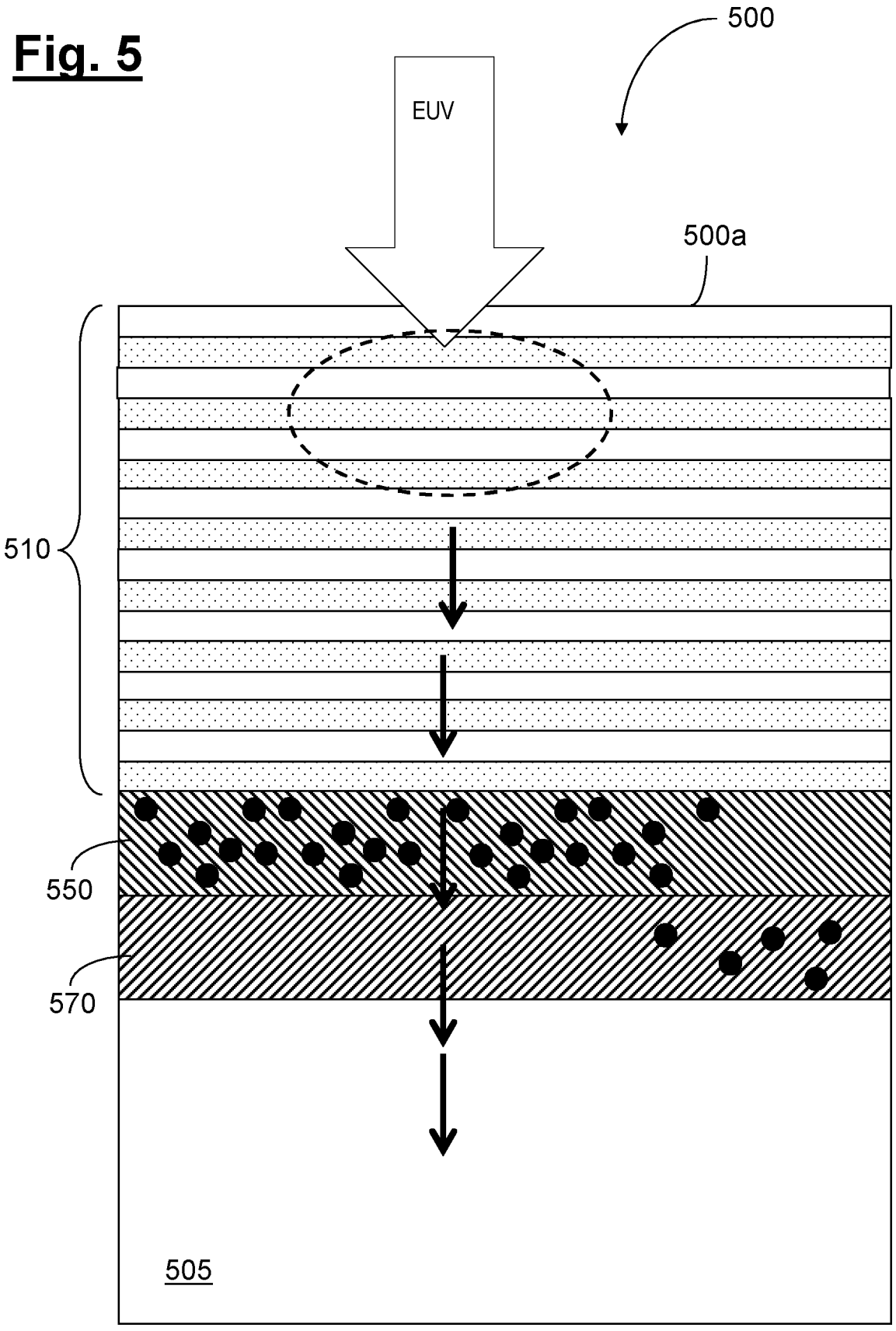


Fig. 5



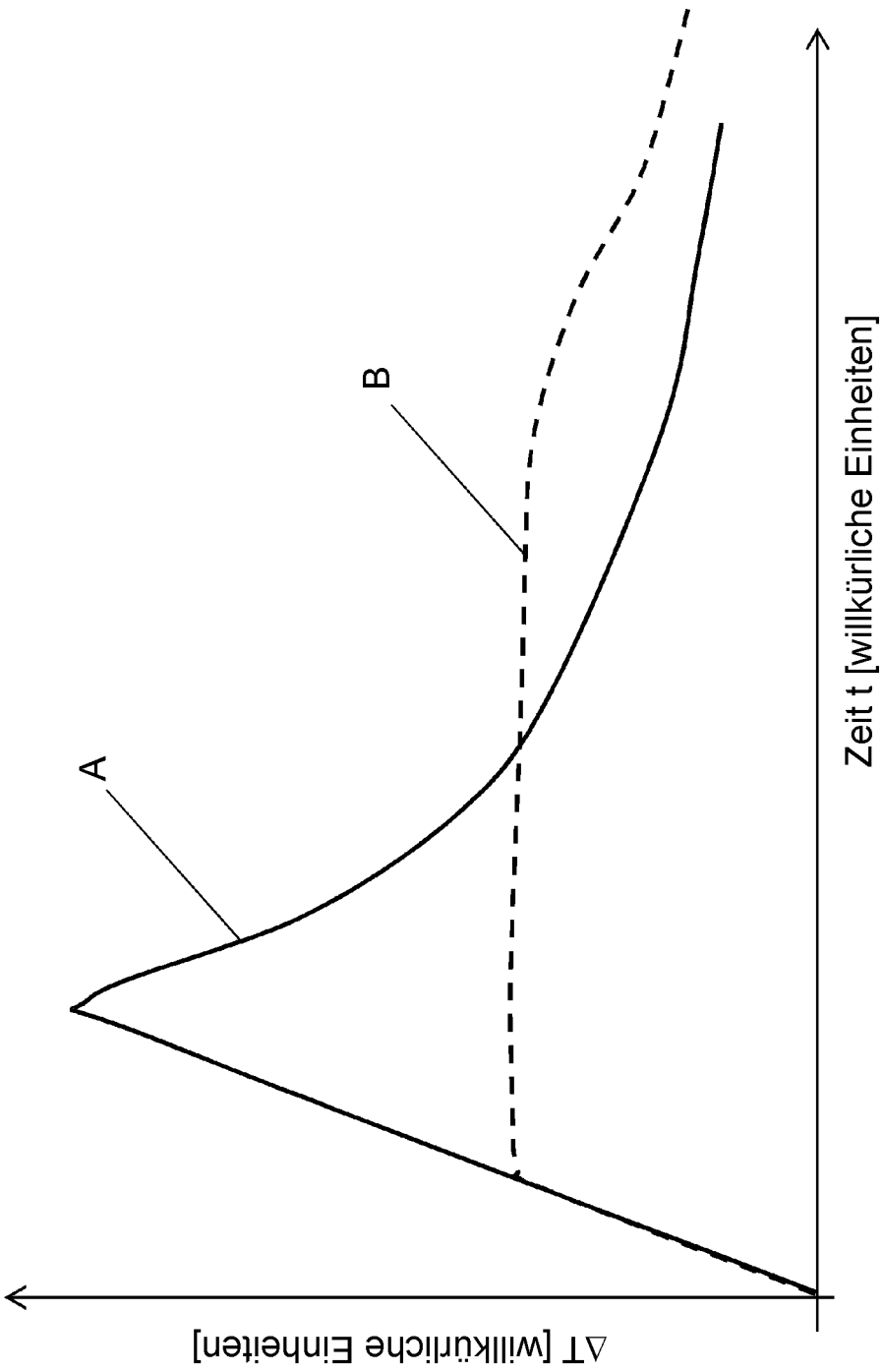

A
B
Zeit t [willkürliche Einheiten]
ΔT [willkürliche Einheiten]

Fig. 6

Fig. 7

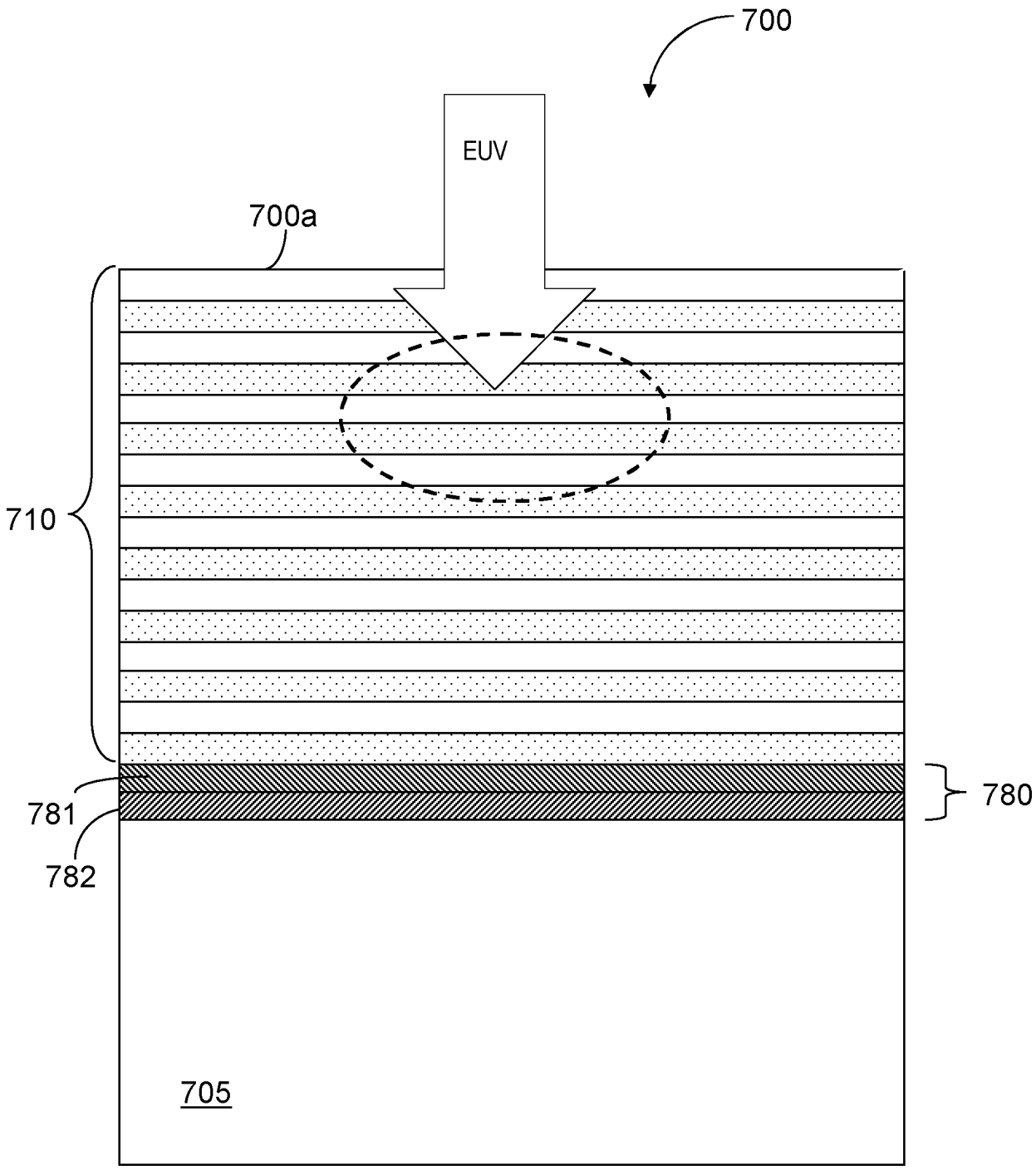
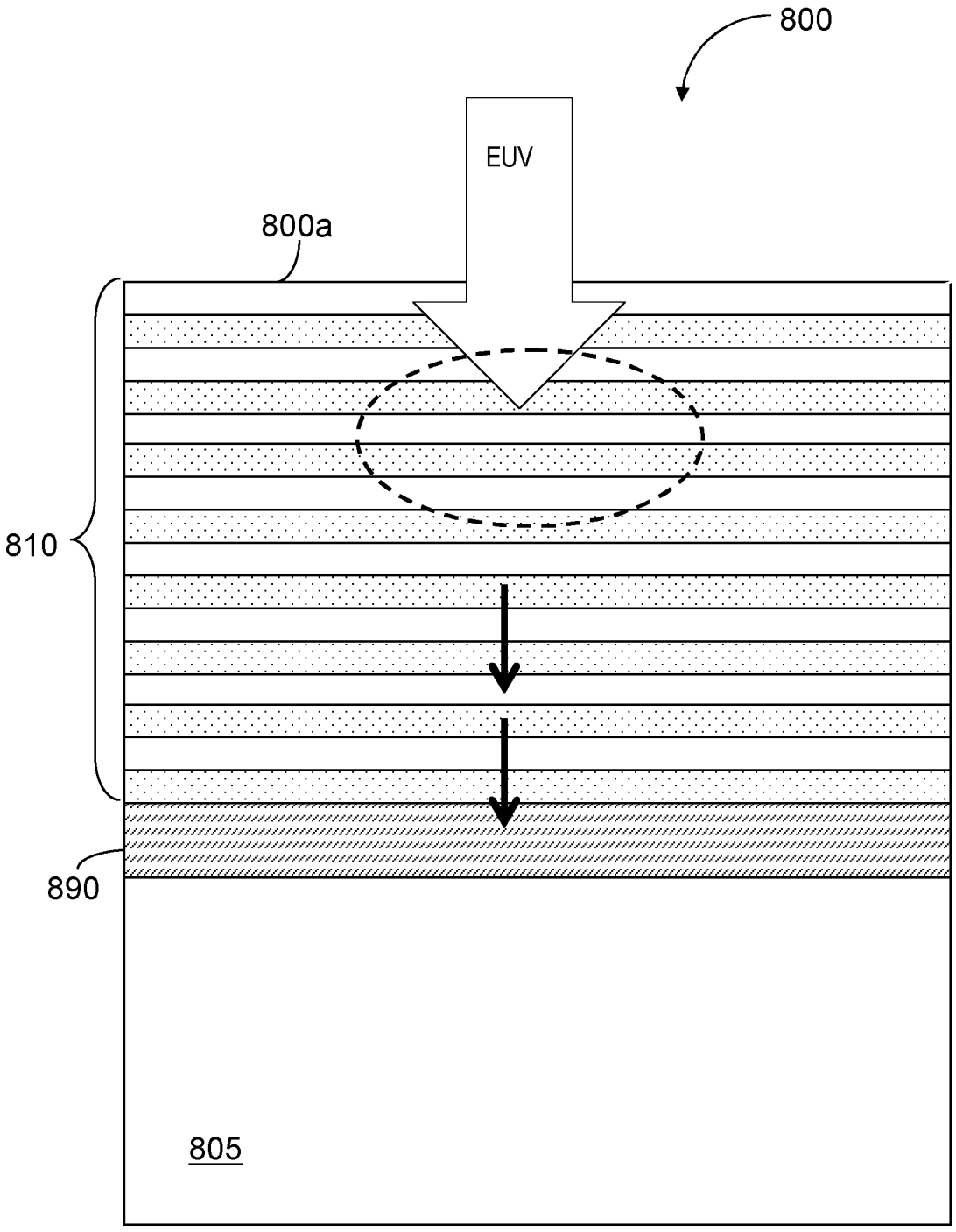


Fig. 8



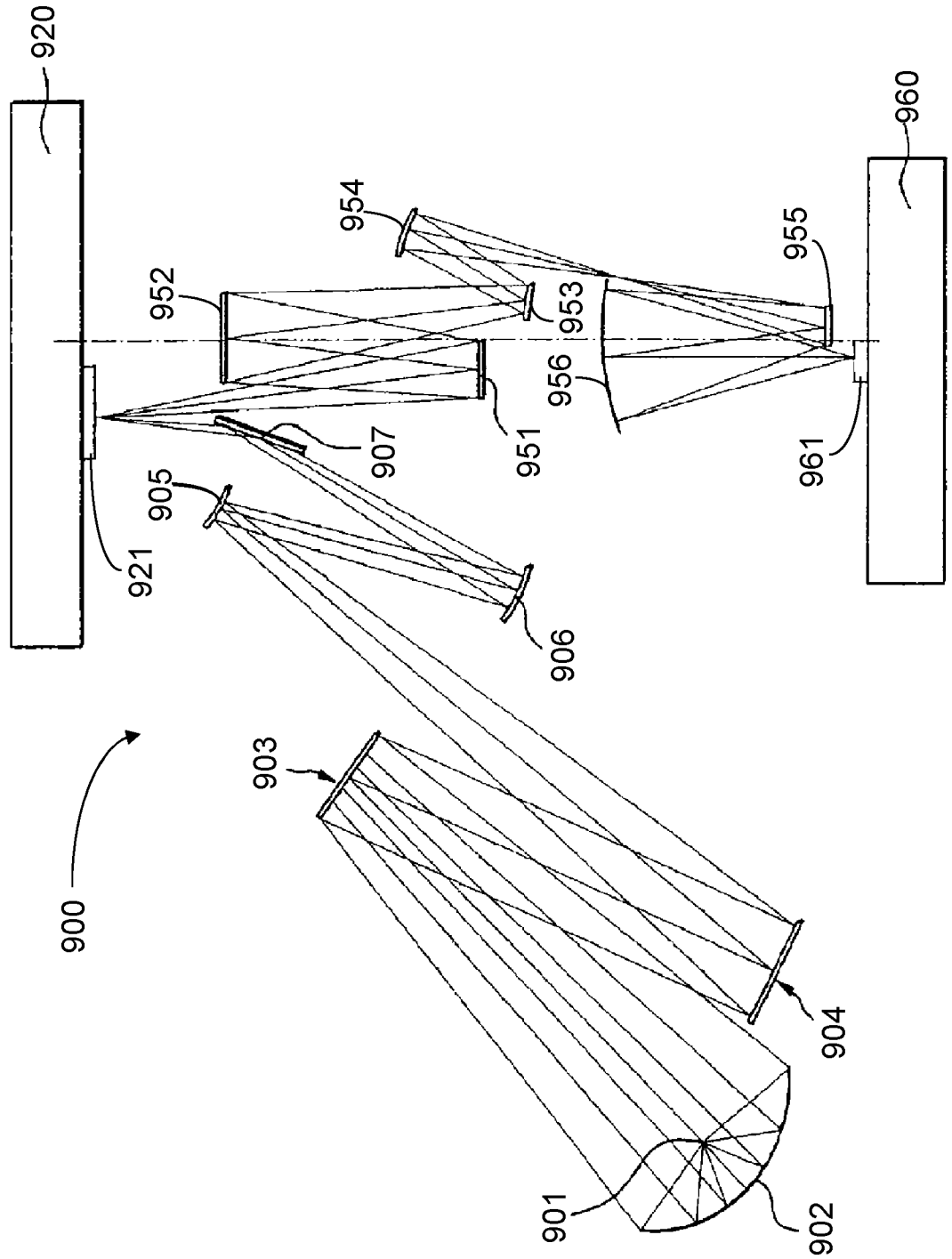

920
960
954
955
952
953
956
951
907
961
905
921
906
903
900
904
901
902

Fig. 9