

(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  
22. Juni 2017 (22.06.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2017/102256 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:

G03F 1/24 (2012.01) G21K 1/06 (2006.01)  
G03F 7/20 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/078343

(22) Internationales Anmeldedatum:  
21. November 2016 (21.11.2016)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2015 225 509.3  
16. Dezember 2015 (16.12.2015) 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): HUBER, Peter [DE/DE];  
Igelhecke 19, 89518 Heidenheim (DE).

(74) Anwalt: FRANK, Hartmut; BONSMANN  
BONSMANN FRANK Patentanwälte,

Reichspräsidentenstraße 21-25, 45470 Mülheim a.d. Ruhr  
(DE).

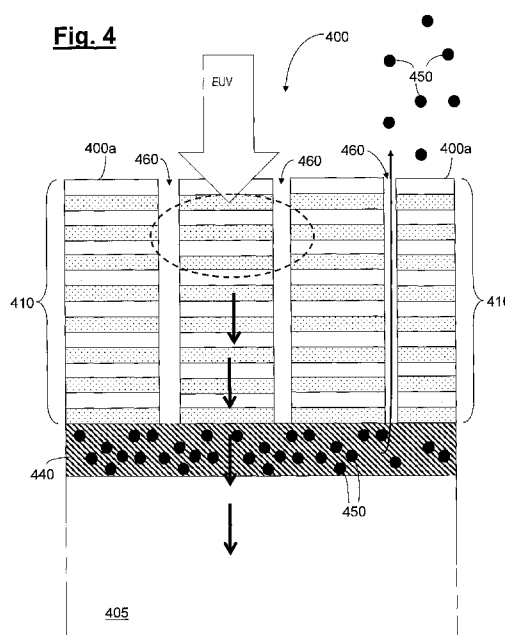
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,  
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,  
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK,  
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GE, GH, GM,  
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,  
KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, 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, SM, ST, SV, SY, TH,  
TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: REFLECTIVE OPTICAL ELEMENT

(54) Bezeichnung : REFLEKTIVES OPTISCHES ELEMENT



(57) Abstract: The invention relates to a reflective optical element particularly for a microlithographic projection exposure system or for a mask inspection system. According to one aspect of the invention, the reflective optical element comprises an optical active surface, a substrate (405, 505), a reflective layer system (410, 510) and at least one porous outlet gas layer (450, 550) which, when the optical active surface (400a, 500a) is irradiated with electromagnetic radiation, at least intermittently releases particles adsorbed in said outlet gas layer (450, 550).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein reflektives optisches Element, insbesondere für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage oder eine Maskeninspektionsanlage. Gemäß einem Aspekt der Erfindung weist das reflektive optische Element eine optische Wirkfläche, ein Substrat (405, 505), ein Reflexionsschichtsystem (410, 510) und wenigstens eine poröse Ausgasschicht (450, 550) auf, welche bei Bestrahlung der optischen Wirkfläche (400a, 500a) mit elektromagnetischer Strahlung zumindest zeitweise in der Ausgasschicht (450, 550) adsorbierte Teilchen freisetzt.

WO 2017/102256 A1



---

**Erklärungen gemäß Regel 4.17:**

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

**Veröffentlicht:**

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

## Reflektives optisches Element

5

Die vorliegende Anmeldung beansprucht die Priorität der Deutschen Patentanmeldung DE 10 2015 225 509.3, angemeldet am 16. Dezember 2015. Der Inhalt dieser DE-Anmeldung wird durch Bezugnahme („incorporation by reference“) mit in den vorliegenden Anmeldungstext aufgenommen.

10

## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

### 15 Gebiet der Erfindung

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

20

### 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.

25

30

Maskeninspektionsanlagen werden zur Inspektion von Retikeln für mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlagen verwendet.

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.

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.

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.

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 reflek-

tiven optischen Elemente einzusetzen, wodurch jedoch die Komplexität der Systeme erhöht wird.

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

### ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

10 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.  
15

Diese Aufgabe wird durch ein reflektives optisches Element gemäß den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche gelöst.

20 Gemäß einem Aspekt betrifft die Erfindung ein reflektives optisches Element, insbesondere für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage oder eine Maskeninspektionsanlage, wobei das reflektive optische Element eine optische Wirkfläche aufweist, mit

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

30 Gemäß diesem Aspekt beinhaltet die Erfindung das 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.

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.

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.

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.

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

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 Wirk-

fläche mit elektromagnetischer Strahlung von der ersten Ausgasschicht freigesetzte Teilchen in der zweiten Ausgasschicht zumindest zeitweise adsorbiert werden.

Gemäß einer Ausführungsform weist das reflektive optische Element wenigstens  
5 eine Wärmeabstrahlschicht auf, 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.

10 Gemäß einem weiteren Aspekt weist ein erfindungsgemäßes reflektives optisches Element, insbesondere für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage oder für eine Maskeninspektionsanlage, wobei das reflektive optische Element eine optische Wirkfläche aufweist, auf:

– ein Substrat;

15 – 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 Wärme-  
20 abstrahlschicht erhöht.

Gemäß dieses Aspekts liegt der Erfindung insbesondere das Konzept zugrunde, eine unerwünschte thermisch bedingte Deformation eines reflektiven optischen Elements infolge der im Betrieb auftreffenden elektromagnetischen Strahlung  
25 dadurch zumindest zu reduzieren, dass ein möglichst effektiver Abtransport von Infrarot (IR)-Strahlung über eine Wärmeabstrahlschicht bereitgestellt wird.

Dabei macht sich die Erfindung insbesondere den Umstand zunutze, dass etwa in einem EUV-Spiegel das Substrat bzw. die zu dessen Herstellung typischerweise  
30 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.

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.

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.

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 auftref-



fenden elektromagnetischen Nutzstrahlung (z.B. EUV-Strahlung im Falle eines EUV-Spiegels) möglichst gering ist.

5 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  
10 zum anderen wird diese IR-Abstrahlung aufgrund des Temperaturanstiegs in dem Reflexionsschichtsystem unterstützt.

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).  
15  
20

Gemäß einer Ausführungsform weist das reflektive optische Element ferner wenigstens ein Peltierelement auf, welches zwischen dem Substrat und dem Reflexionsschichtsystem angeordnet ist.  
25

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  
30 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.

- 5 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;
  - 10 – einem Reflexionsschichtsystem; und
  - einem Peltierelement, welches zwischen dem Substrat und dem Reflexionsschichtsystem angeordnet ist.

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

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 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 weitergegeben werden.

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.

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.

5 Des Weiteren kann es sich bei dem erfindungsgemäßen reflektiven optischen Element auch um ein Retikel für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage handeln.

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.

15

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

20

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

## KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

25 Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung zur Erläuterung des Aufbaus eines reflektiven optischen Elements gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung;

30

Figur 2-5 schematische Darstellungen zur Erläuterung des Aufbaus eines reflektiven optischen Elements gemäß weiterer Ausführungsformen der Erfindung;

Figur 6 ein Diagramm zur Erläuterung der Wirkungsweise eines reflektiven optischen Elements gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung;

5

Figur 7-8 schematische Darstellungen zur Erläuterung des Aufbaus eines reflektiven optischen Elements gemäß weiterer Ausführungsformen der Erfindung; und

10 Figur 9 eine schematische Darstellung zur Erläuterung des möglichen Aufbaus einer für den Betrieb im EUV ausgelegten mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage.

15

## DETAILLIERTE BESCHREIBUNG BEVORZUGTER AUSFÜHRUNGSFORMEN

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung zur Erläuterung des Aufbaus eines erfindungsgemäßen reflektiven optischen Elements in einer ersten Ausführungsform der Erfindung.

20

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<sub>2</sub>)-dotiertes Quarzglas, wobei lediglich beispielhaft (und ohne dass die Erfindung hierauf beschränkt wäre) die unter den Markenbezeichnungen ULE<sup>®</sup> (der Firma Corning Inc.) oder Zerodur<sup>®</sup> (der Firma Schott AG) vertriebenen Materialien verwendbar sind.

25

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 geeigne-

30

ter 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.

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.

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.

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.

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.

Fig. 2 zeigt eine weitere Ausführungsform, wobei zu Fig. 1 analoge bzw. im Wesentlichen funktionsgleiche Komponenten mit um „100“ erhöhten Bezugswerten 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.

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

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.

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. Emissions-  
eigenschaften für EUV-Strahlung genommen werden muss).

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.

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.

Ein geeignetes Material für die Wärmeisolationsschicht 330 ist z.B. amorphes Quarzglas ( $\text{SiO}_2$ ), 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.

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.

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  $1\mu\text{m}$  bis  $10\mu\text{m}$  liegen.

- 5 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 ober-
- 10 flächennahen 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.
- 15 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
- 20 anhand eines Vergleichs zweier typischer Verläufe für die Zeitabhängigkeit der Temperaturerhöhung  $\Delta T$  im oberflächennahen Bereich ohne (Kurve „A“) bzw. mit (Kurve „B“) Vorhandensein der Ausgasschicht 440 angedeutet.

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.

- 30 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.



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 be-  
5 schrieben 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.

Bei den Ausführungsformen von Fig. 4 und 5 kann jeweils zwischen aufeinander-  
10 folgenden Lichtpulsen eine aktive Kühlung erfolgen, um die mit der Freisetzung von Absorptionsenergie anfallende Wärme entsprechend abzutransportieren.

Fig. 7 zeigt eine entsprechende weitere Ausführungsform eines erfindungsgemä-  
ßen reflektiven optischen Elements 700, wobei zu Fig. 4 analoge bzw. im Wesent-  
15 lichen funktionsgleiche Komponenten mit um „100“ erhöhten Bezugswerten be-  
zeichnet 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.

Auf diese Weise kann eine Kühlung des Substrats 705 auf Kosten einer Erwär-  
mung des Reflexionsschichtsystems 710 erzielt werden, wobei wiederum der be-  
reits eingangs erläuterte Umstand ausgenutzt wird, dass je nach konkreten Aufbau  
des reflektiven optischen Elements ein Wärmeeintrag in das Reflexionsschicht-  
25 system im Vergleich zu einem Wärmeeintrag in das Substrat vergleichsweise un-  
problematisch ist.

Der vorstehend beschriebene Einsatz eines Peltierelements 780 kann insbeson-  
dere auch vorteilhaft mit dem Vorhandensein einer Wärmeabstrahlschicht 220  
30 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.

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.

5 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  
10 von dem Reflexionsschichtsystem 810 vergleichsweise schnell an die Wärmepufferschicht 890 weitergegeben wird, so dass ein ausgeprägter Temperaturanstieg auf Seiten des Reflexionsschichtsystems 810 vermieden werden kann (und wiederum analog etwa zu Fig. 4 bis 6 gegebenenfalls temperatursensitive Schichten bzw. Schichtsysteme geschützt werden können). Durch diese Ausgestaltung kann  
15 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.

20 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  
25 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.

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

5

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.

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.

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

5 Sinne der beigefügten Patentansprüche und deren Äquivalente beschränkt ist.

Patentansprüche

1. Reflektives optisches Element, insbesondere für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage oder eine Maskeninspektionsanlage, wobei  
5 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 Be-  
10 strahlung der optischen Wirkfläche (400a, 500a) mit elektromagnetischer Strahlung zumindest zeitweise in der Ausgasschicht (450, 550) adsorbierte Teilchen freisetzt.
2. Reflektives optisches Element nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
15 dass diese Ausgasschicht (450, 550) auf der dem Substrat (405, 505) zugewandten Seite des Reflexionsschichtsystems (410, 510) angeordnet ist.
3. Reflektives optisches Element nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass dieses eine erste poröse Ausgasschicht (550) und eine  
20 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.
4. Reflektives optisches Element nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass dieses wenigstens eine Wärmeabstrahlschicht aufweist, welche bei Bestrahlung der optischen Wirkfläche mit elektromagnetischer Strahlung eine Abstrahlung von durch die elektromagnetische  
30 Strahlung in dem reflektiven optischen Element induzierter Wärme im Vergleich zu einem analogen Aufbau ohne die Wärmeabstrahlschicht erhöht.
5. 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, 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.

6. Reflektives optisches Element nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Wärmeabstrahlschicht (120) auf der dem Substrat (105) zugewandten Seite des Reflexionsschichtsystems (110) angeordnet ist.

7. Reflektives optisches Element nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Wärmeabstrahlschicht (220, 320) auf der der optischen Wirkfläche (200a, 300a) zugewandten Seite des Reflexionsschichtsystems (210, 310) angeordnet ist.

8. 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.

9. Reflektives optisches Element nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass diese Wärmeisolationsschicht (330) Quarz aufweist.

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 Reflexionsschicht-

system (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.

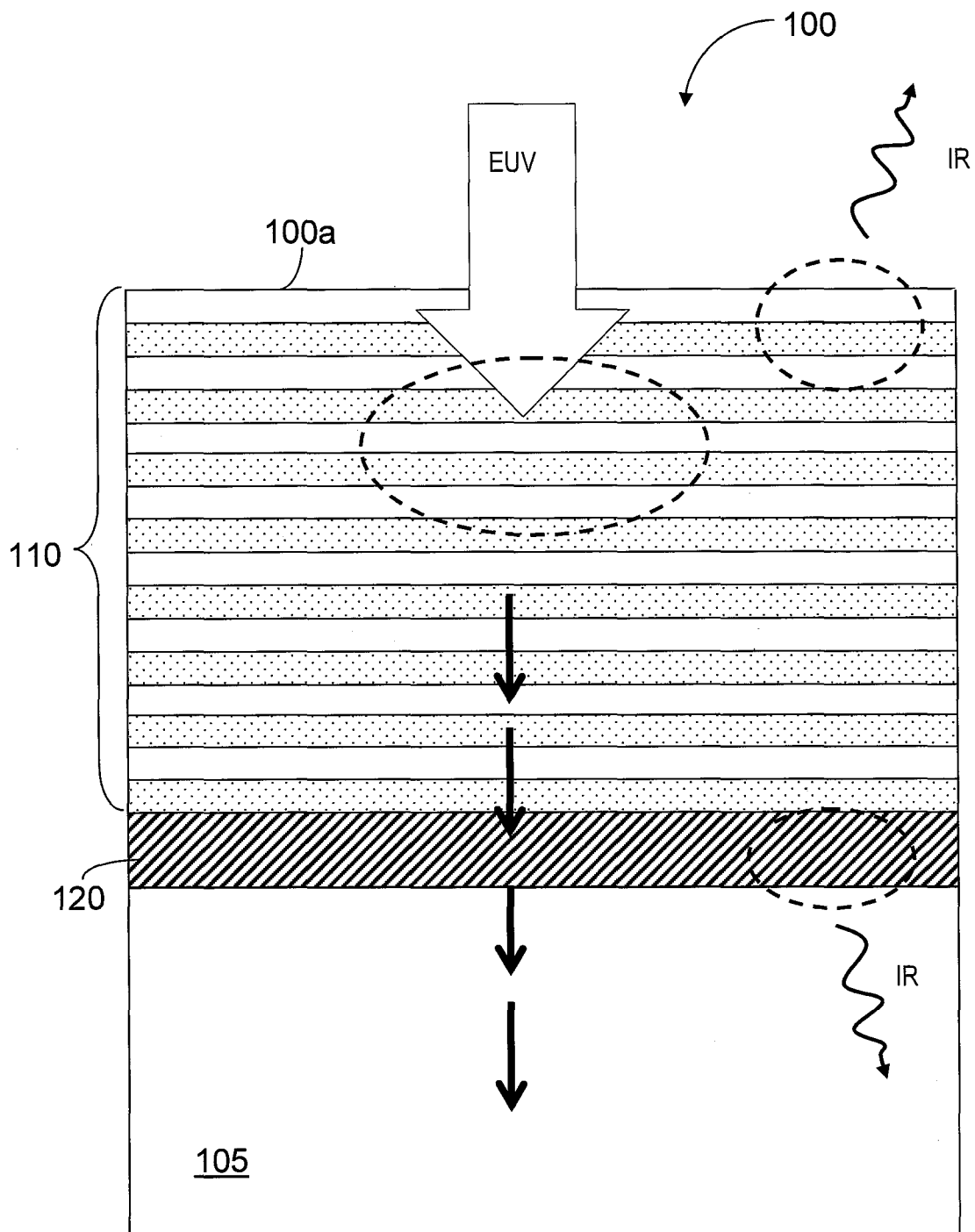
14. Reflektives optisches Element nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass das reflektive optische Element ein Spiegel, insbesondere ein Spiegel für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage oder ein Spiegel für eine Maskeninspektionsanlage, ist.

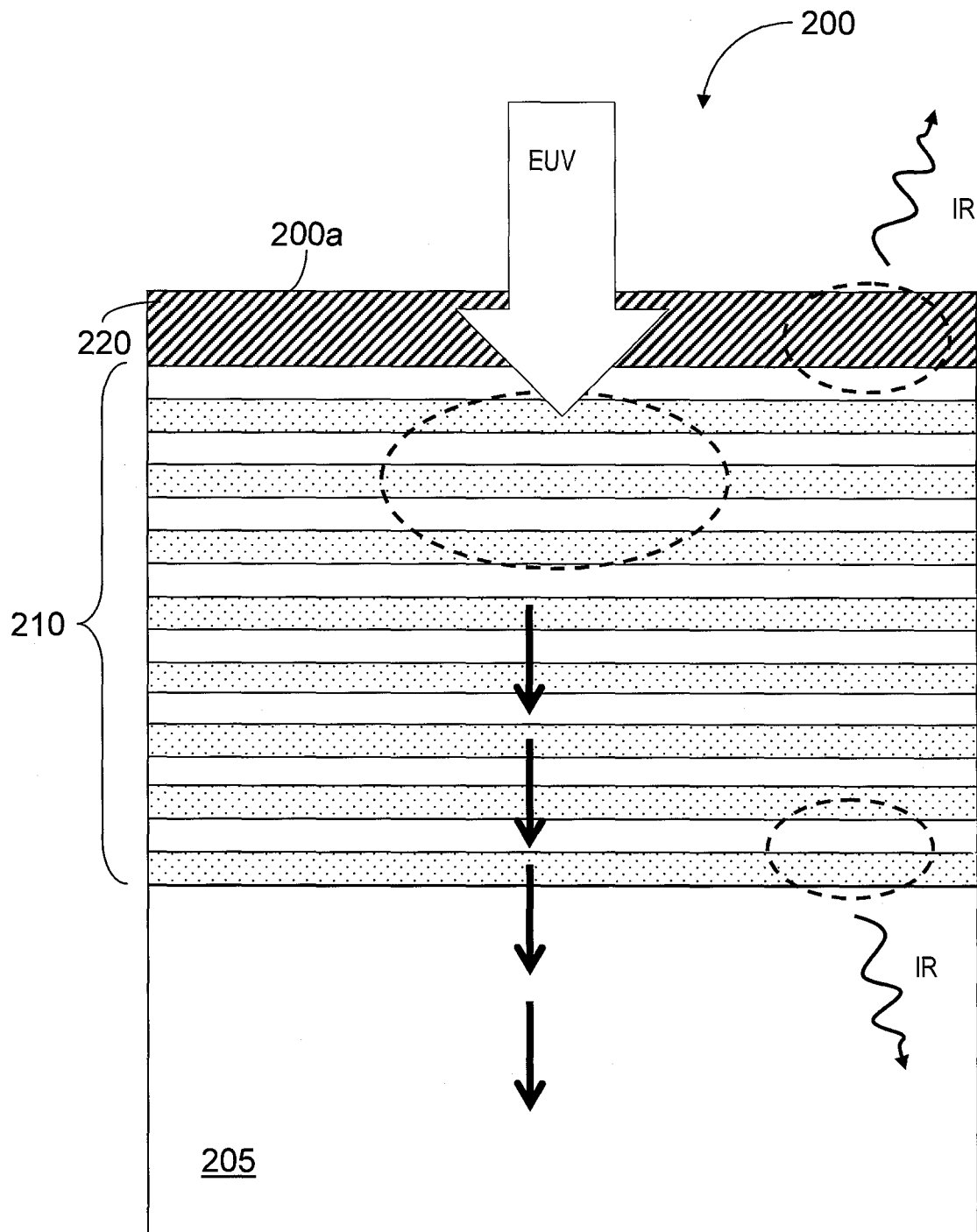
15. Optisches System, mit wenigstens einem reflektiven optischen Element nach einem der Ansprüche 1 bis 14.

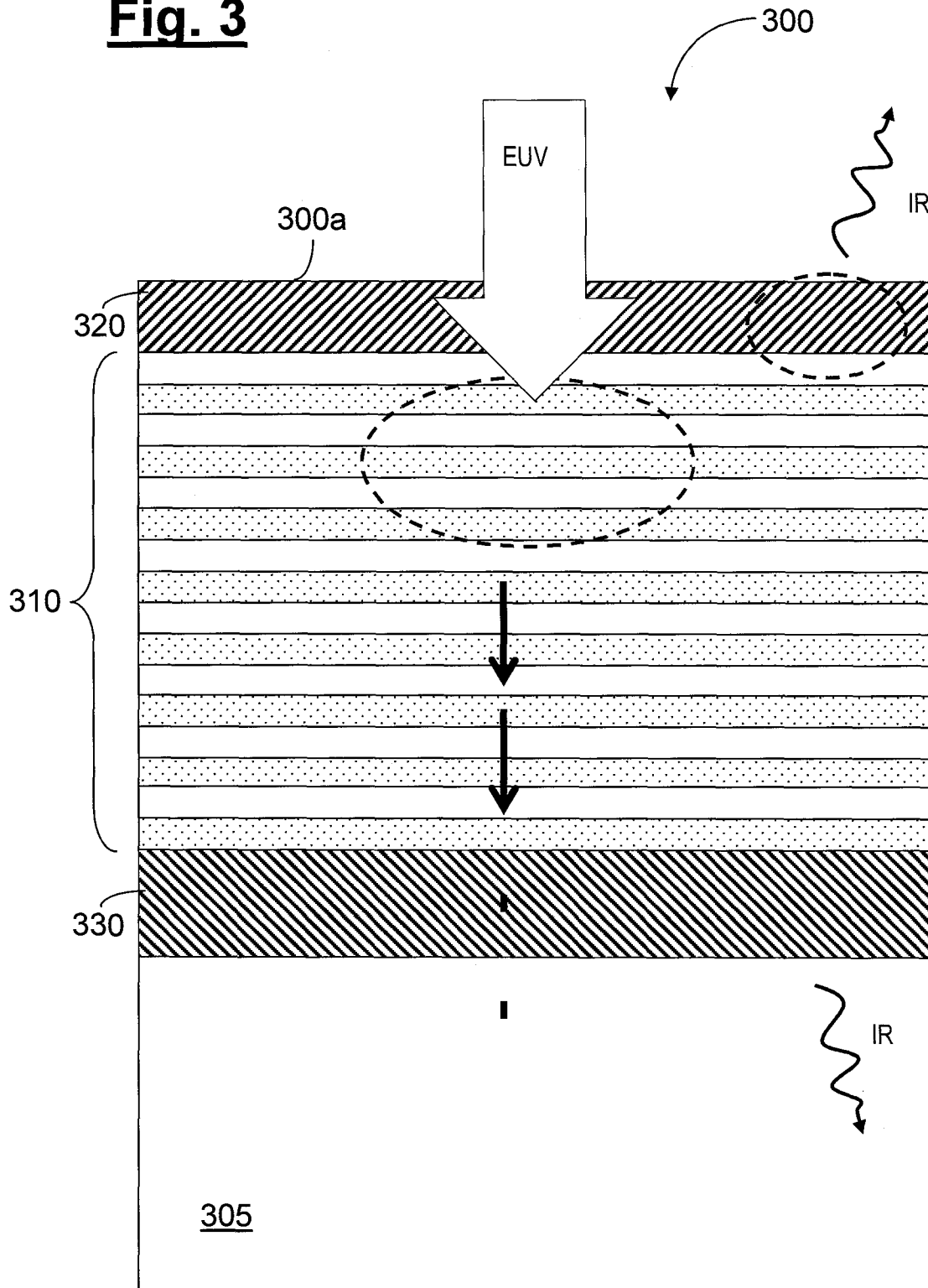
16. Optisches System nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass auf der dem Reflexionsschichtstapel abgewandten Seite des Substrats ferner eine Wärmesenke angeordnet ist.

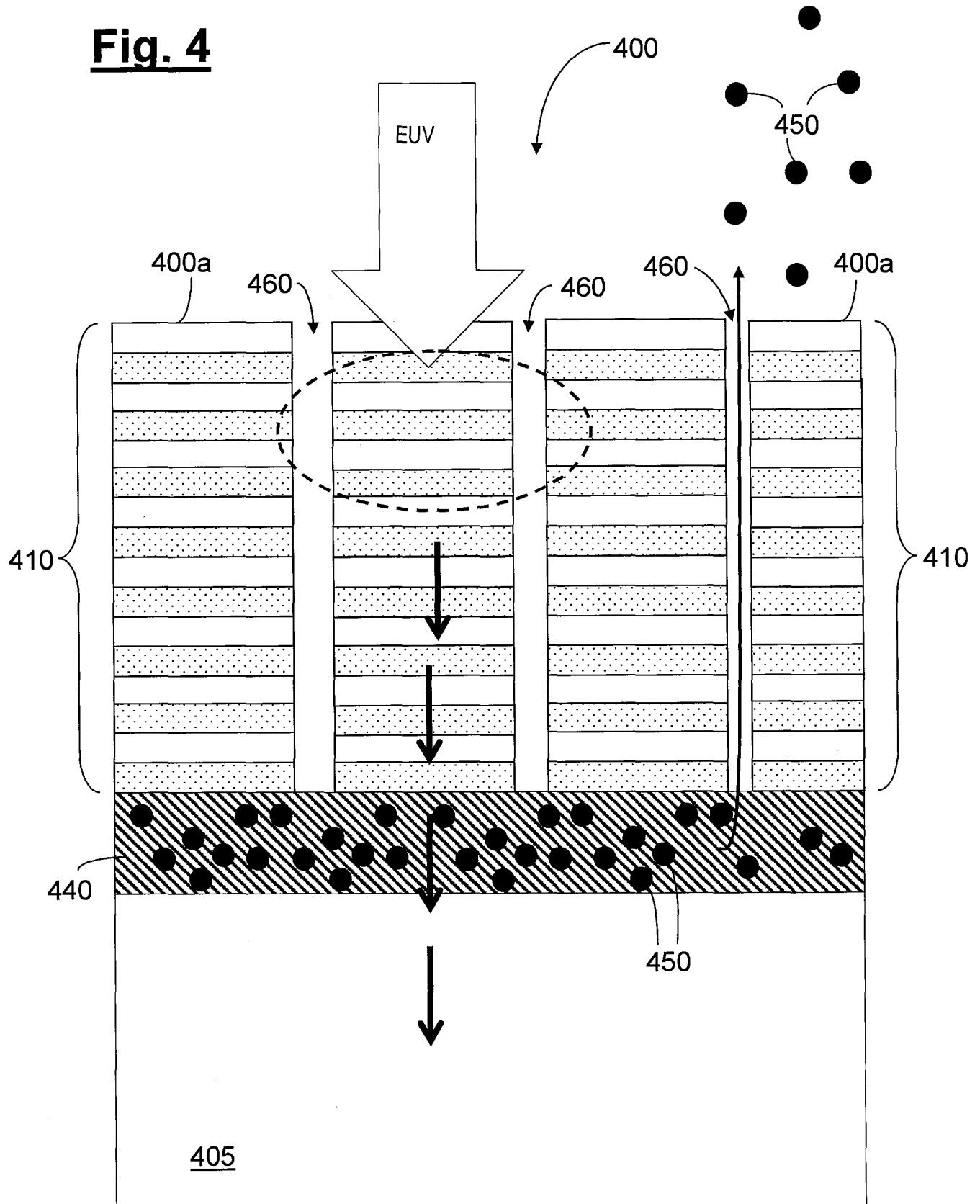
17. Optisches System nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass dieses ein optisches System einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage (900), insbesondere eine Beleuchtungseinrichtung oder ein Projektionsobjektiv, ist.
- 5
18. Optisches System nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass dieses ein optisches System einer Maskeninspektionsanlage, insbesondere eine Beleuchtungseinrichtung oder ein Inspektionsobjektiv, ist.
- 10
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.
- 15
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.



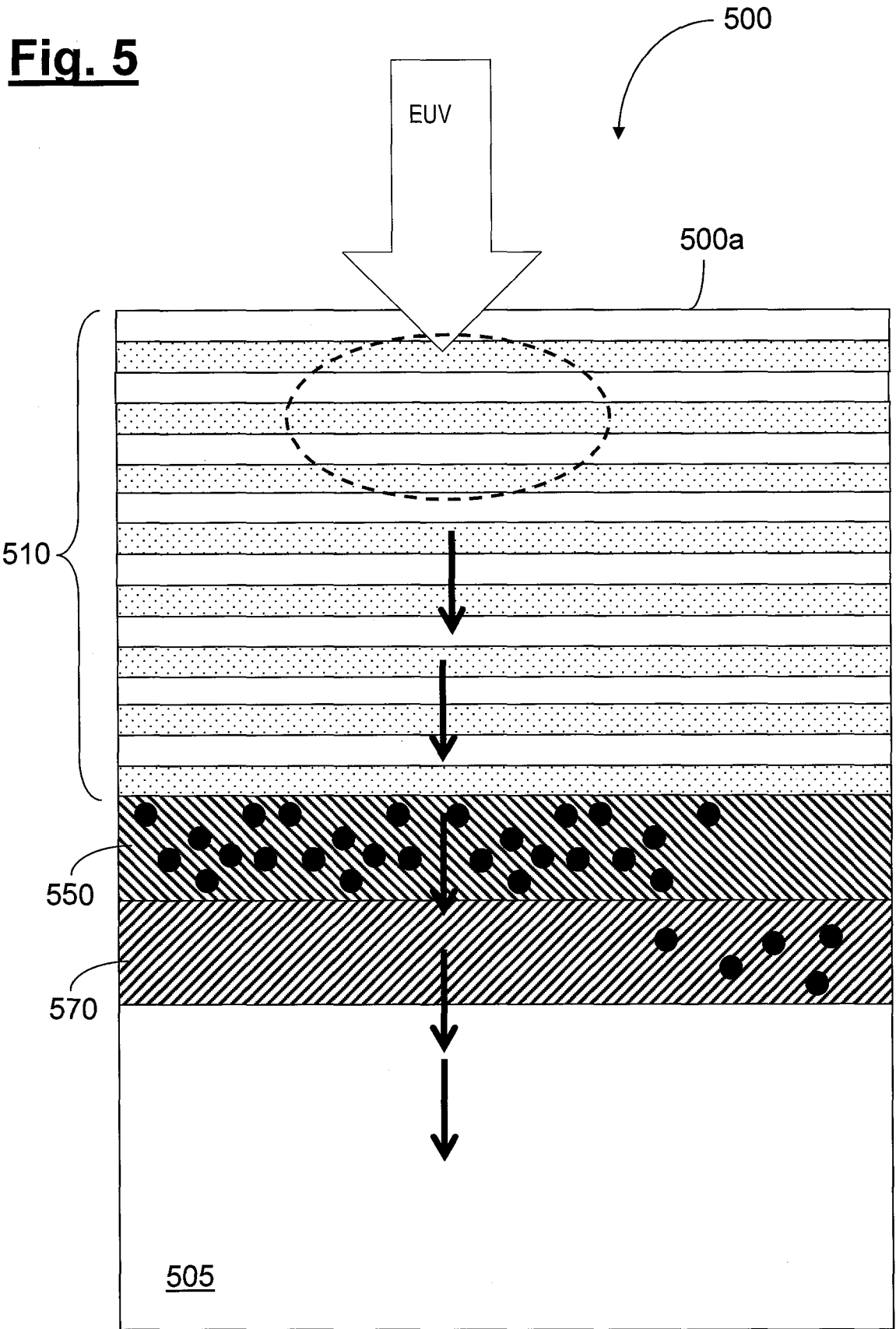
**Fig. 1**

**Fig. 2**

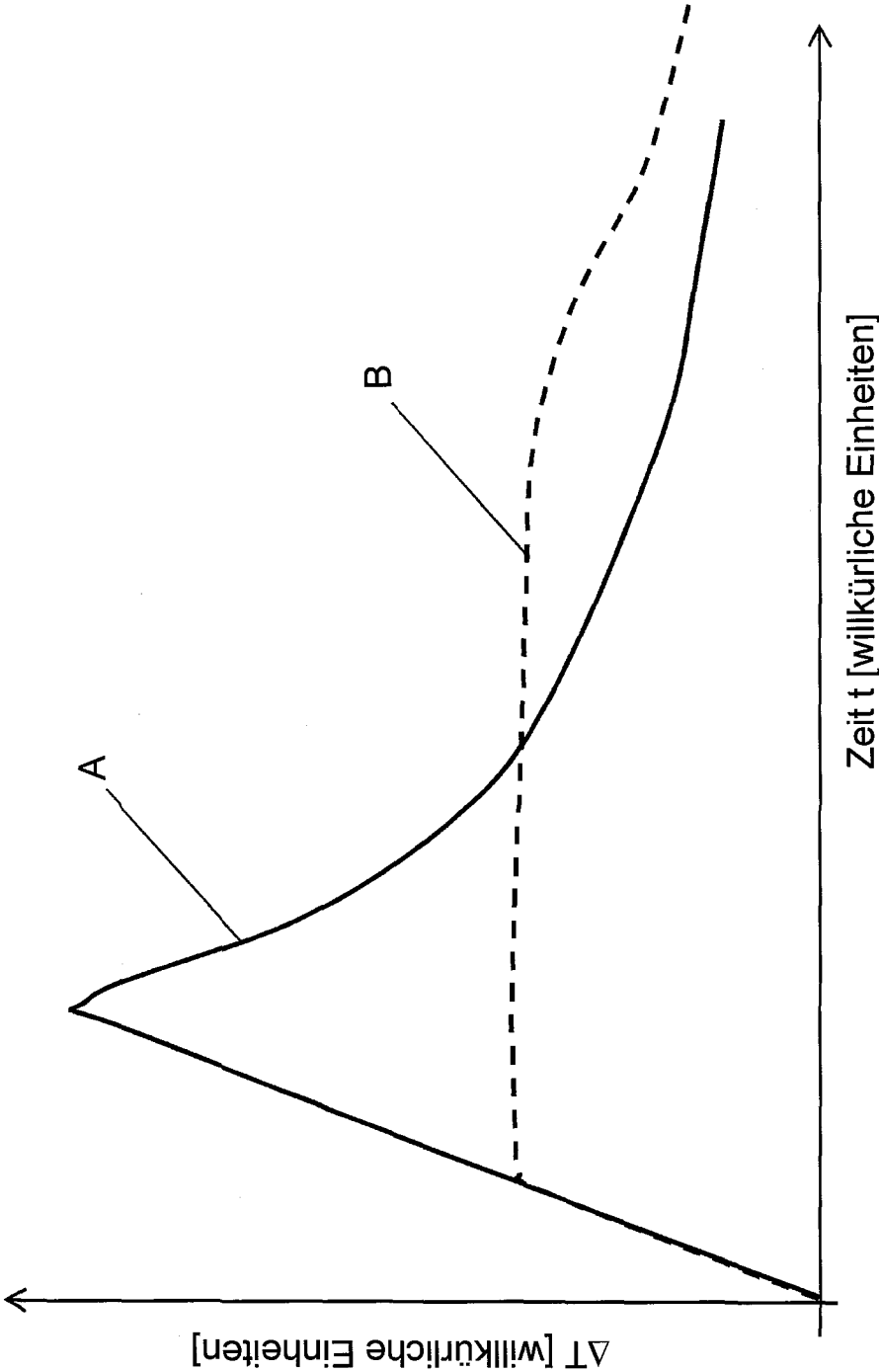
**Fig. 3**

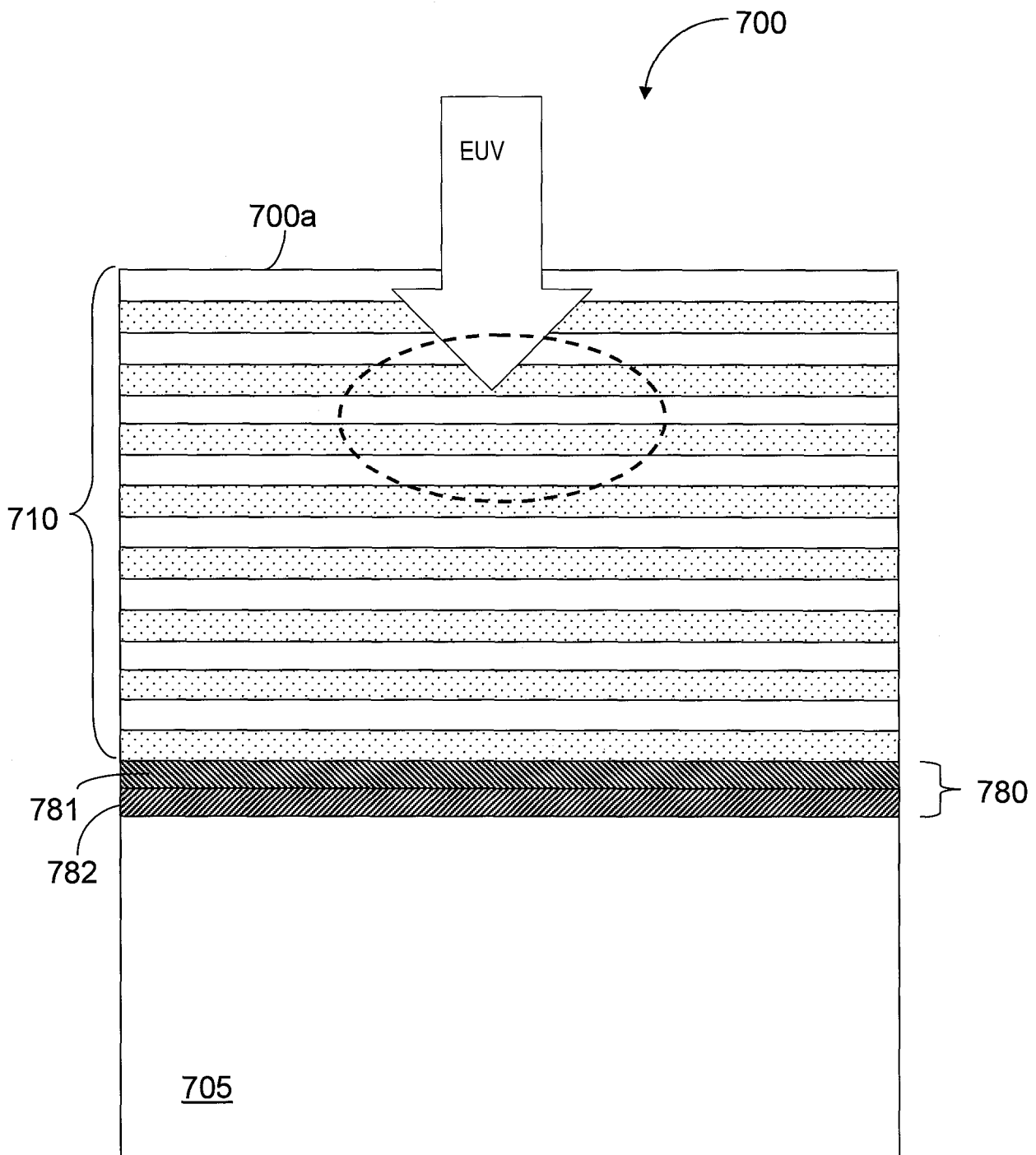
**Fig. 4**

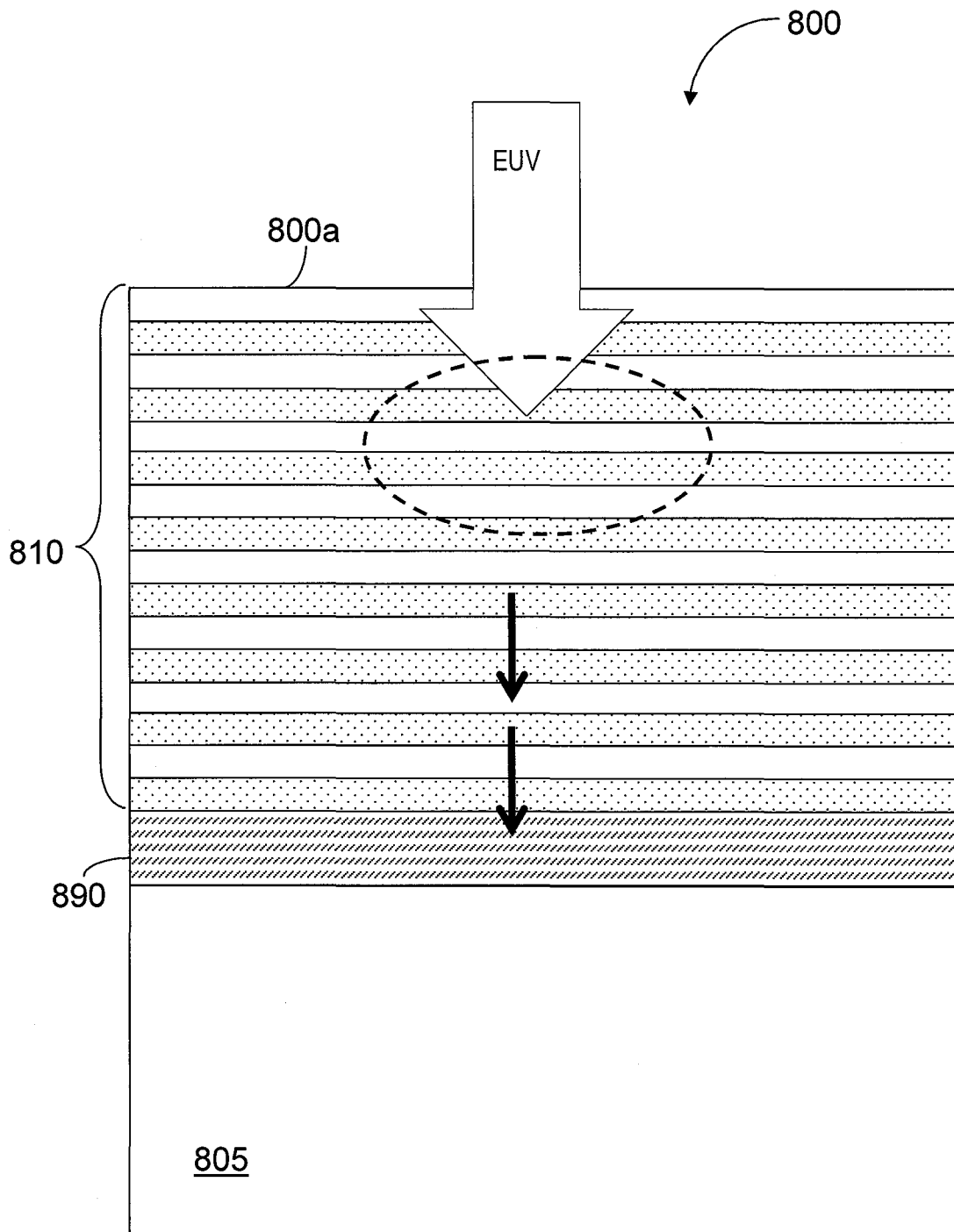
**Fig. 5**



**Fig. 6**

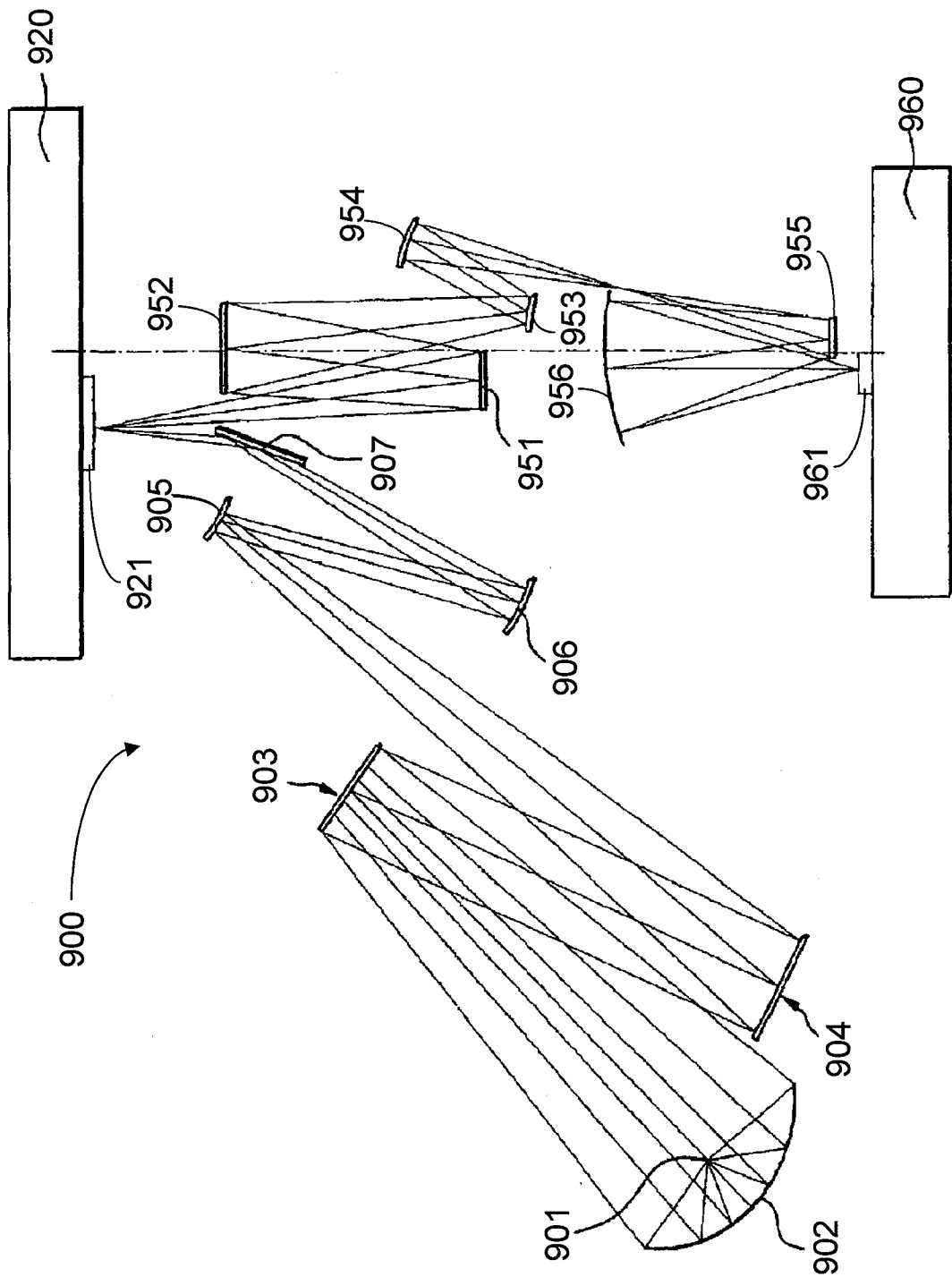


**Fig. 7**

**Fig. 8**



**Fig. 9**



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2016/078343

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> INV. G03F1/24      G03F7/20      G21K1/06 ADD.		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G03F   G21K		
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, INSPEC, WPI Data		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 10 2013 102670 A1 (ASML NETHERLANDS BV [NL]; ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 2 October 2014 (2014-10-02)	1,3, 12-15, 17-20
Y	paragraphs [0042] - [0064]; figure 2	4,8-10, 16
A	-----	2,7
X	DE 10 2013 204427 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 18 September 2014 (2014-09-18)	5,6,12, 18,20
Y	paragraphs [0009] - [0016], [0049], [0050]; figure 5a	4,8-10, 16
X	-----	11
Y	US 2004/009410 A1 (LERCCEL MICHAEL J [US] ET AL) 15 January 2004 (2004-01-15) paragraphs [0017] - [0020]; figure 1	10
	----- -/--	
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span><input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.</span> <span><input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.</span> </div>		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>* Special categories of cited documents :</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"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)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>"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</p> <p>"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</p> <p>"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</p> <p>"&amp;" document member of the same patent family</p> </div> </div>		
Date of the actual completion of the international search  <div style="text-align: center; font-size: 1.2em;">2 March 2017</div>	Date of mailing of the international search report  <div style="text-align: center; font-size: 1.2em;">13/03/2017</div>	
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer  <div style="text-align: center; font-size: 1.2em;">Eisner, Klaus</div>	

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2016/078343

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	DE 10 2012 212898 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 30 January 2014 (2014-01-30) paragraphs [0049], [0125]; figure 10 -----	8,9
Y	DE 10 2014 206765 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 8 October 2015 (2015-10-08) paragraph [0054] -----	16

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/078343

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102013102670 A1	02-10-2014	CN 105074576 A	18-11-2015
		DE 102013102670 A1	02-10-2014
		JP 2016509270 A	24-03-2016
		KR 20150130410 A	23-11-2015
		US 2016187543 A1	30-06-2016
		WO 2014139694 A1	18-09-2014
-----			
DE 102013204427 A1	18-09-2014	CN 105190443 A	23-12-2015
		DE 102013204427 A1	18-09-2014
		JP 2016517028 A	09-06-2016
		KR 20150132203 A	25-11-2015
		US 2016041480 A1	11-02-2016
		WO 2014139896 A2	18-09-2014
-----			
US 2004009410 A1	15-01-2004	NONE	
-----			
DE 102012212898 A1	30-01-2014	CN 104487899 A	01-04-2015
		DE 102012212898 A1	30-01-2014
		EP 2877898 A1	03-06-2015
		JP 2015528134 A	24-09-2015
		KR 20150036276 A	07-04-2015
		TW 201416723 A	01-05-2014
		US 2015168674 A1	18-06-2015
		WO 2014016168 A1	30-01-2014
-----			
DE 102014206765 A1	08-10-2015	DE 102014206765 A1	08-10-2015
		TW 201602631 A	16-01-2016
		WO 2015155061 A1	15-10-2015
-----			

## A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. G03F1/24 G03F7/20 G21K1/06  
ADD.

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

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

G03F G21K

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, INSPEC, WPI Data

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2013 102670 A1 (ASML NETHERLANDS BV [NL]; ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 2. Oktober 2014 (2014-10-02)	1,3, 12-15, 17-20
Y	Absätze [0042] - [0064]; Abbildung 2	4,8-10, 16
A	-----	2,7
X	DE 10 2013 204427 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 18. September 2014 (2014-09-18)	5,6,12, 18,20
Y	Absätze [0009] - [0016], [0049], [0050]; Abbildung 5a	4,8-10, 16
X	US 2004/009410 A1 (LERCEL MICHAEL J [US] ET AL) 15. Januar 2004 (2004-01-15)	11
Y	Absätze [0017] - [0020]; Abbildung 1	10
	----- -/-	

☒ 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

2. März 2017

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

13/03/2017

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Eisner, Klaus

## C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	DE 10 2012 212898 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 30. Januar 2014 (2014-01-30) Absätze [0049], [0125]; Abbildung 10 -----	8,9
Y	DE 10 2014 206765 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 8. Oktober 2015 (2015-10-08) Absatz [0054] -----	16

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/078343

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102013102670 A1	02-10-2014	CN 105074576 A	18-11-2015
		DE 102013102670 A1	02-10-2014
		JP 2016509270 A	24-03-2016
		KR 20150130410 A	23-11-2015
		US 2016187543 A1	30-06-2016
		WO 2014139694 A1	18-09-2014
-----			
DE 102013204427 A1	18-09-2014	CN 105190443 A	23-12-2015
		DE 102013204427 A1	18-09-2014
		JP 2016517028 A	09-06-2016
		KR 20150132203 A	25-11-2015
		US 2016041480 A1	11-02-2016
		WO 2014139896 A2	18-09-2014
-----			
US 2004009410 A1	15-01-2004	KEINE	
-----			
DE 102012212898 A1	30-01-2014	CN 104487899 A	01-04-2015
		DE 102012212898 A1	30-01-2014
		EP 2877898 A1	03-06-2015
		JP 2015528134 A	24-09-2015
		KR 20150036276 A	07-04-2015
		TW 201416723 A	01-05-2014
		US 2015168674 A1	18-06-2015
		WO 2014016168 A1	30-01-2014
-----			
DE 102014206765 A1	08-10-2015	DE 102014206765 A1	08-10-2015
		TW 201602631 A	16-01-2016
		WO 2015155061 A1	15-10-2015
-----			