



(10) **DE 10 2016 207 307 A1** 2017.11.02

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2016 207 307.9**

(22) Anmeldetag: **28.04.2016**

(43) Offenlegungstag: **02.11.2017**

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

G02B 1/04 (2006.01)

G02B 1/10 (2006.01)

G03F 7/20 (2006.01)

(71) Anmelder:

Carl Zeiss SMT GmbH, 73447 Oberkochen, DE

(72) Erfinder:

**Grasse, Christian, 85748 Garching, DE; Dier,
Oliver, 73466 Lauchheim, DE; Weber, Jörn,
73430 Aalen, DE; Winter, Ralf, 73529 Schwäbisch
Gmünd, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

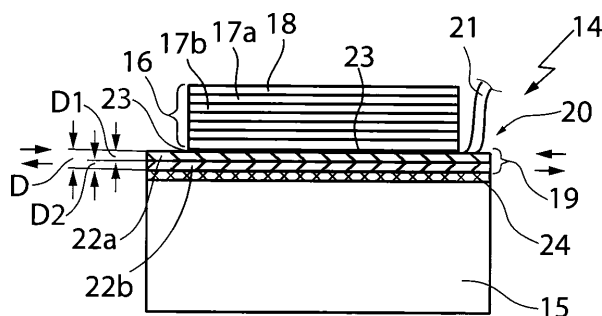
DE	10 2009 054 653	A1
DE	10 2012 207 003	A1
US	2006 / 0 062 348	A1
US	2007 / 0 287 076	A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Optisches Element und optische Anordnung damit**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein optisches Element (14), insbesondere für die EUV-Lithographie, umfassend: ein Substrat (15), eine auf das Substrat (15) aufgebrachte reflektierende Beschichtung (16), sowie eine sich zwischen dem Substrat (15) und der reflektierenden Beschichtung (16) erstreckende elektrisch leitende Beschichtung (19), die mindestens eine erste, unter Zugspannung stehende Schicht (22a) und mindestens eine zweite, unter Druckspannung stehende Schicht (22b) aufweist. Die Erfindung betrifft auch eine optische Anordnung, insbesondere ein EUV-Lithographiesystem, mit mindestens einem solchen optischen Element (14).



Beschreibung

Hintergrund der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft ein optisches Element, insbesondere für die EUV-Lithographie, umfassend: ein Substrat, eine auf das Substrat aufgebrachte reflektierende Beschichtung, sowie eine sich zwischen dem Substrat und der reflektierenden Beschichtung erstreckende elektrisch leitende Beschichtung. Die Erfindung betrifft auch eine optische Anordnung, insbesondere ein EUV-Lithographiesystem, mit mindestens einem solchen optischen Element.

[0002] Ein reflektives optisches Element wie weiter oben beschrieben ist aus der WO 2008/034582 A2 bekannt geworden. Durch die Bildung von Photoelektronen, insbesondere von Sekundärelektronen, bei der Bestrahlung des optischen Elements mit EUV-Strahlung werden an der der Umgebung zugewandten Oberfläche der reflektierenden Beschichtung Ladungen erzeugt, die typischer Weise nicht über das Substrat abgeführt werden können, da dieses entweder elektrisch isolierend ist oder im Vergleich zur reflektierenden Beschichtung, typischer Weise einer Mehrlagen-Beschichtung, eine wesentlich geringere elektrische Leitfähigkeit aufweist. Die dort beschriebene elektrisch leitende Beschichtung bzw. Schicht ist daher zur Erdung, zum Anlegen einer definierten Spannung oder zum Ableiten eines Photostroms elektrisch kontaktierbar.

[0003] Die elektrisch leitende Schicht kann elektrisch kontaktiert werden, um eine Erdung des optischen Elements vorzunehmen bzw. dieses mit einem definierten Potential zu verbinden. Auf diese Weise können die Ladungen von dem optischen Element abtransportiert werden und eine elektrostatische Aufladung des optischen Elements kann vermieden werden. Die von dem optischen Element abtransportierten Ladungen können auch dazu verwendet werden, einen Photostrom zu messen, mit dessen Hilfe Rückschlüsse auf den Kontaminationsgrad der reflektierenden Oberfläche des optischen Elements gezogen werden können.

[0004] In der WO 2008/034582 A2 wird vorgeschlagen, die elektrisch leitfähige Beschichtung aus einer einzelnen Schicht aus einem Metall zu bilden, beispielsweise aus Gold, Nickel, etc. oder aus Legierungen. Alternativ kann die elektrisch leitfähige Beschichtung auch aus einem (weiteren) Mehrlagen-System bestehen.

[0005] In der WO 2006/033442 A1 ist eine reflektive Maske beschrieben, bei der an der der reflektierenden Beschichtung abgewandten Rückseite des Substrats eine elektrisch leitfähige Schicht angebracht ist, um das Substrat zu erden und auf diese Weise das Substrat vor einer elektrostatischen Aufladung zu

schützen. Eine weitere elektrisch leitfähige Schicht, welche die Schicht an der Rückseite des Substrats elektrisch leitend fortsetzt, bedeckt die Seitenflächen des Substrats sowie die Vorderseite des Substrats, an der unter anderem die reflektierende Beschichtung sowie eine strukturierte Absorberschicht aufgebracht sind.

[0006] In der JP 2007194406 A ist ein Spiegel mit einer reflektierenden Mehrlagen-Beschichtung beschrieben, der geeignet ist, die Mehrlagen-Beschichtung zu erden bzw. um an dem Spiegel ein elektrisches Potential anzulegen. Zu diesem Zweck wird eine elektrisch leitende Schicht zwischen die Mehrlagen-Beschichtung und das Substrat aufgebracht, die sich zu einer Halterung an der Seitenfläche des Spiegels erstreckt, an der eine Fassung für den Spiegel angebracht wird. Auf diese Weise kann die Mehrlagen-Beschichtung geerdet werden, ohne dass die reflektierende Oberfläche der Mehrlagen-Beschichtung beschädigt und die optischen Eigenschaften des Spiegels hierdurch beeinträchtigt werden.

Aufgabe der Erfindung

[0007] Aufgabe der Erfindung ist es, ein optisches Element und eine optische Anordnung bereitzustellen, bei denen die optischen Eigenschaften des optischen Elements durch die elektrisch leitende Beschichtung nicht beeinträchtigt werden.

Gegenstand der Erfindung

[0008] Diese Aufgabe wird gelöst durch ein optisches Element der eingangs genannten Art, bei dem die elektrisch leitende Beschichtung mindestens eine erste, unter Zugspannung stehende Schicht und mindestens eine zweite, unter Druckspannung stehende Schicht aufweist.

[0009] Bei der Verwendung einer elektrisch leitenden Beschichtung in Form einer Einzelschicht aus einem hochleitenden, in der Regel metallischen Material, dessen Schichtdicke typischer Weise in der Größenordnung von z.B. hundert Nanometer oder darüber liegt, kann durch die Schichtspannung der elektrisch leitenden Beschichtung die Passe, d.h. die Oberflächenform des Substrats bzw. der reflektierenden Oberfläche der reflektierenden Beschichtung verändert werden, so dass es zu optischen Aberrationen kommen kann, welche die optischen Eigenschaften des Spiegels, insbesondere die Wellenfront der reflektierten EUV-Strahlung verschlechtern können oder die ggf. ein aufwändiges Korrekturverfahren erforderlich machen, um die Passe des Substrats bereits vor dem Aufbringen der elektrisch leitenden Beschichtung zu verändern. Hohe Schichtspannungen, beispielsweise in Form von Zugspannungen, treten insbesondere bei elektrisch leitenden Beschichtungen auf, die aus einem Edelmetall, z.B. aus Gold,

bestehen, um eine möglichst hohe Leitfähigkeit und chemische Beständigkeit der elektrisch leitenden Beschichtung zu erzeugen.

[0010] Durch die Verwendung einer elektrisch leitenden Beschichtung mit einer ersten Schicht, die unter Zugspannung steht und einer zweiten Schicht, die unter Druckspannung steht, kann die Deformation des Substrats und damit der Oberflächenform des optischen Elements aufgrund von Schichtspannungen in der elektrisch leitenden Beschichtung reduziert werden. Zu diesem Zweck können das Material der (mindestens einen) ersten Schicht, die Dicke und ggf. die Art der Auftragung der ersten Schicht sowie das Material der (mindestens einen) zweiten Schicht, die Dicke und ggf. die Art der Auftragung der zweiten Schicht so gewählt werden, dass die Zugspannung der ersten Schicht die Druckspannung der zweiten Schicht im Wesentlichen kompensiert.

[0011] Eine solche Kompensation kann auf analoge Weise erfolgen wie in der US 8,564,925 B2 beschrieben ist, bei welcher eine elektrisch leitende Beschichtung eines Wafer-Chucks mindestens eine erste Schicht mit einer Zugspannung und mindestens eine zweite Schicht mit einer Druckspannung aufweist, die idealer Weise derart aufeinander abgestimmt sind, dass sich insgesamt Zug- und Druckspannungen kompensieren.

[0012] Alternativ zu einer (nahezu) vollständigen Kompensation der Schichtspannung ist es möglich, die Zugspannung und die Druckspannung der Schichten der elektrisch leitenden Beschichtung so aufeinander abzustimmen, dass eine gewünschte, vorgegebene resultierende Schichtspannung (Zug- oder Druckspannung) der elektrisch leitenden Beschichtung erzeugt wird. Die vorgegebene Schichtspannung der elektrisch leitenden Beschichtung kann beispielsweise derart gewählt werden, dass eine Schichtspannung, die aufgrund des Beschichtungsvorgangs in der reflektierenden Beschichtung entsteht, kompensiert oder ggf. weitestgehend kompensiert wird.

[0013] Bei einer Ausführungsform ist/sind die erste und/oder die zweite Schicht aus einem metallischen Material oder aus einer Legierung gebildet. Wie weiter oben beschrieben wurde, weisen metallische Materialien, insbesondere Edelmetalle, sowie ggf. deren Legierungen, eine hohe elektrische Leitfähigkeit und eine gute chemische Beständigkeit auf, so dass sich diese Materialien besonders gut für die elektrisch leitende Beschichtung eignen.

[0014] Folgende Gruppe von Materialien und ihre Legierungen sind aufgrund ihrer elektrischen Leitfähigkeit als Materialien für die erste und/oder die zweite Schicht der elektrisch leitfähigen Beschichtung besonders geeignet: Silber, Kupfer, Gold, Aluminium,

Rhodium, Iridium, Wolfram, Molybdän, Cobalt, Nickel, Ruthenium, Indium, Osmium, Eisen, Platin, Palladium, Chrom, Tantal, Titan, Zr, Re.

[0015] Ob in der ersten und/oder der zweiten Schicht eine Druck- oder eine Zugspannung auftritt, lässt sich durch das jeweilige Herstellverfahren bzw. Beschichtungsverfahren beim Aufbringen der jeweiligen Schicht sowie durch das verwendete Schicht-Material beeinflussen. Mit anderen Worten gibt es Materialien, die eher zur Ausbildung von Zugspannungen neigen und Materialien, die eher zur Ausbildung von Druckspannungen neigen, wobei die Ausbildung einer Zug- oder Druckspannung durch das Herstellungsverfahren beeinflusst werden kann. Allgemein sind unter Herstellungsverfahren Beschichtungsverfahren in Form von „Physical Vapor Deposition“ (PVD)-Verfahren zu verstehen wie z.B. thermisches Verdampfen oder Ebeam/Elektronenstrahl-Verdampfen, Ionenstrahl- & Magnetronspattern oder Pulsed Laser Deposition, oder Beschichtungsverfahren, die auf „Chemical Vapor Deposition“ (CVD) beruhen.

[0016] Das Material der ersten Schicht kann beispielsweise ausgewählt sein aus obiger Gruppe und ist mit einem Beschichtungsverfahren hergestellt, das typischerweise Zugspannungen erzeugt. Beispielsweise kann die erste Schicht, welche die Zugspannung aufweist, aus Gold bestehen und mittels Elektronenstrahl-Verdampfen hergestellt sein.

[0017] Das Material der zweiten Schicht kann ebenfalls ausgewählt sein aus obiger Gruppe und bei der Beschichtung mit einem Verfahren aufgebracht werden, welches typischer Weise eine Druckspannung erzeugt. Beispielsweise kann die zweite Schicht aus Ruthenium gebildet sein und durch Sputtern aufgebracht werden, da dieses Beschichtungsverfahren typischer Weise eine Druckspannung erzeugt. Wie weiter oben beschrieben wurde, werden typischer Weise das Material der ersten Schicht und das Material der zweiten Schicht sowie die Schichtdicken so aufeinander abgestimmt, dass sich die gewünschte resultierende Schichtspannung der elektrisch leitenden Beschichtung einstellt, die insbesondere bei nahezu Null liegen kann. Es versteht sich, dass die resultierende Schichtspannung der elektrisch leitenden Beschichtung in der Regel nicht von der Reihenfolge der Schichten abhängig ist, d.h. die zweite Schicht, die eine Druckspannung aufweist, kann auf die erste Schicht aufgebracht werden, die eine Zugspannung aufweist, oder umgekehrt.

[0018] Bei einer weiteren Ausführungsform umfasst die elektrisch leitende Beschichtung mindestens eine Barriere-Schicht, die zwischen der ersten Schicht und der zweiten Schicht angeordnet ist. Die Barriere-Schicht ist ebenfalls aus einem elektrisch leitfähigen Material gebildet und soll die Diffusion des Ma-

terials der ersten Schicht in die zweite Schicht und umgekehrt verhindern. Weist die elektrisch leitende Beschichtung zwei oder mehr erste Schichten und zwei oder mehr zweite Schichten auf, so kann zwischen jeweils zwei benachbarten ersten und zweiten Schichten eine Barriere-Schicht gebildet sein. Da die Barriere-Schicht lediglich die Diffusion der Materialien zwischen der ersten und der zweiten Schicht unterbinden soll, kann die Barriere-Schicht sehr dünn sein und beispielsweise eine Dicke von weniger als z.B. ca. 1nm aufweisen, so dass die Leitfähigkeit der elektrisch leitfähigen Beschichtung nicht signifikant beeinträchtigt wird, auch wenn das Material der Barriere-Schicht nicht elektrisch leitfähig ist. Vorteil der Barriere-Schicht ist, dass eine Schichtdickenänderung aufgrund Diffusionsprozessen und somit eine Änderung der Oberflächenform (siehe oben) verhindert wird.

[0019] Bei einer weiteren Ausführungsform ist zwischen der reflektierenden Beschichtung und der elektrisch leitenden Beschichtung eine Barriere-Schicht angeordnet. In diesem Fall dient die Barriere-Schicht dazu, die Diffusion der Materialien der reflektierenden Beschichtung in die elektrisch leitende Beschichtung zu verhindern, und umgekehrt, um auf diese Weise eine ungewollte Veränderung der Schichtdicke der beteiligten Schichten zu vermeiden.

[0020] Die Materialien für die Barriere-Schicht sind in beiden oben beschriebenen Fällen bevorzugt ausgewählt aus der Gruppe: W, Ta, Y, Mo, Zr, Ti, Hf, Sc, deren Legierungen und/oder chemische Verbindungen, insbesondere Carbide, Nitride, Boride, Silizide, C und B₄C.

[0021] Bei einer weiteren Ausführungsform weist die elektrisch leitende Beschichtung eine Dicke zwischen 50 nm und 1000 nm auf. Die elektrisch leitende Beschichtung kann dazu verwendet werden, das Substrat vor dem schädigenden Einfluss der EUV-Strahlung zu schützen, die ansonsten ggf. zu einer Degradation des Materials des Substrats führen könnte, d.h. die elektrisch leitende Beschichtung kann als so genannte „Substrate protection layer“, SPL, dienen. Zu diesem Zweck kann es günstig sein, wenn die elektrisch leitende Beschichtung eine nicht zu geringe Dicke aufweist.

[0022] Bei einer weiteren Ausführungsform weist die erste Schicht eine Dicke auf, die größer ist als die Dicke der zweiten Schicht und das Material der ersten Schicht weist eine größere Absorption für EUV-Strahlung auf als das Material der zweiten Schicht, oder umgekehrt, d.h. die zweite Schicht weist eine Dicke auf, die größer ist als die Dicke der ersten Schicht und das Material der zweiten Schicht weist eine größere Absorption für EUV-Strahlung auf als das Material der ersten Schicht. Um das Substrat vor der EUV-Strahlung zu schützen, kann es günstig

sein, die Schichtdicken der ersten bzw. der zweiten Schicht geeignet zu wählen, beispielsweise indem diejenige(n) Schicht(en), deren Material eine größere Absorption für die EUV-Strahlung bei der verwendeten Wellenlänge aufweist, mit einer Dicke aufgebracht wird/werden, die größer ist als die Dicke derjenigen Schicht(en), die ein Material mit einer geringeren Absorption für die EUV-Strahlung aufweisen.

[0023] Bei den Materialien, die eine hohe Absorption aufweisen und die zum Schutz des Substrats daher ggf. mit einer größeren Dicke aufgebracht werden sollten, kann es sich beispielsweise um Materialien handeln, die ausgewählt sind aus der Gruppe umfassend: Eisen (Fe), Nickel (Ni), Kobalt (Co), Kupfer (Cu), Silber (Ag), Gold (Au), Platin (Pt), Wolfram (Wo), Chrom (Cr), Zink (Zn), Iridium (Ir), Indium (In), Zinn (Sn) und deren Legierungen und/oder Verbindungen.

[0024] Bei einer weiteren Ausführungsform weist die elektrisch leitende Beschichtung mindestens einen Abschnitt auf, der sich an dem Substrat seitlich über einen optisch genutzten Bereich der reflektierenden Beschichtung oder seitlich über die reflektierende Beschichtung hinaus erstreckt. Dies ist vorteilhaft, um die elektrisch leitende Beschichtung elektrisch zu kontaktieren. Die elektrisch leitende Beschichtung kann sich an der Oberseite des Substrats über die reflektierende Beschichtung hinaus erstrecken und/oder diese kann sich an einer Seitenfläche des Substrats über die reflektierende Beschichtung hinaus erstrecken. In dem Abschnitt, an dem sich die elektrisch leitende Beschichtung über die reflektierende Beschichtung hinaus erstreckt, kann diese beispielsweise mit Hilfe einer elektrischen Leitung kontaktiert werden, um die elektrisch leitende Beschichtung und damit das optische Element zu erden oder um ggf. einen Photostrom zu messen. Es versteht sich, dass die elektrische Kontaktierung bzw. die Erdung des optischen Elements sich vorteilhaft mit der weiter oben beschriebenen Schutzfunktion für das Substrat sowie der ggf. gewünschten Erzeugung einer vorgegebenen Schichtspannung der elektrisch leitenden Beschichtung zur Kompensation von Schichtspannungen in der reflektierenden Beschichtung kombiniert werden kann.

[0025] Bei einer weiteren Ausführungsform weist die reflektierende Beschichtung eine Mehrzahl von alternierenden Einzelschichten aus Materialien mit unterschiedlichen Brechungsindizes auf. Bei der reflektierenden Beschichtung handelt es sich in diesem Fall um eine Mehrlagen-Beschichtung, welche alternierende Einzelschichten aus typischer Weise zwei unterschiedlichen Materialien aufweist. Die Art der Materialien und die Dicken der Einzelschichten sind so gewählt, dass die reflektierende Beschichtung bei einer vorgegebenen Betriebswellenlänge, beispielsweise im EUV-Wellenlängenbereich, eine möglichst

große Reflektivität aufweist. Liegt die Betriebswellenlänge bei ca. 13,5 nm, so bestehen die Einzelschichten üblicherweise aus Molybdän und Silizium. Das Substrat ist in diesem Fall typischer Weise aus einem so genannten Nullausdehnungsmaterial gebildet, welches einen niedrigen thermischen Ausdehnungskoeffizienten aufweist, beispielsweise aus Zerodur®, Clearceram® oder ULE®. Die Mehrlagen-Beschichtung ist typischer Weise zur Reflexion von unter normalem Einfall auftretender EUV-Strahlung ausgebildet, d.h. für EUV-Strahlung, die unter Einfallswinkeln von typischer Weise weniger als ca. 45° zur Flächen-Normalen auf die reflektierende Beschichtung auftrifft.

[0026] Alternativ zur Verwendung einer Mehrlagen-Beschichtung, die für unter normalem Einfall auftretende EUV-Strahlung optimiert ist, kann auch eine reflektierende Beschichtung verwendet werden, die für die Reflexion von unter streifendem Einfall auftretende EUV-Strahlung ausgebildet bzw. optimiert ist. Unter streifendem Einfall von EUV-Strahlung wird typischer Weise ein Einfall von EUV-Strahlung unter einem Einfallswinkel von typischer Weise mehr als ca. 60° zur Flächennormalen der Oberfläche des optischen Elements bzw. der reflektierenden Beschichtung verstanden. Eine reflektierende Beschichtung, die für streifenden Einfall ausgebildet ist, weist typischer Weise ein Maximum der Reflektivität bei mindestens einem Einfallswinkel auf, der größer als 60° ist. Eine derartige reflektierende Beschichtung weist typischer Weise mindestens eine Schicht aus einem Material auf, das eine geringe Brechzahl und eine geringe Absorption für die unter streifendem Einfall auftretende EUV-Strahlung aufweist. Die reflektierende Beschichtung bzw. die reflektierende Schicht kann ein metallisches Material enthalten bzw. aus einem metallischen Material gebildet sein, beispielsweise aus Mo, Ru oder Nb.

[0027] Sowohl reflektierende Beschichtungen, die für streifenden Einfall optimiert sind als auch reflektierende Beschichtungen, die für senkrechten Einfall optimiert sind, können funktionelle Schichten enthalten, beispielsweise Barriere-Schichten zur Verhinderung von Diffusion, sowie eine Deckschicht („capping layer“) zum Schutz der reflektierenden Beschichtung vor Einflüssen aus der Umgebung. Die reflektierende Beschichtung kann auch eine Haftvermittlerschicht zur Verbesserung der Haftung der reflektierenden Beschichtung auf der elektrisch leitfähigen Beschichtung aufweisen.

[0028] Bei einer weiteren Ausführungsform ist zwischen der elektrisch leitenden Beschichtung und dem Substrat mindestens eine Schutzschicht zum Schutz des Substrats vor EUV-Strahlung angebracht. Wie weiter oben beschrieben wurde, kann die elektrisch leitfähige Beschichtung ggf. selbst als Schutzschicht dienen, um das Substrat vor der auftretenden EUV-

Strahlung zu schützen. Sofern dies nur teilweise gelingt, kann zwischen der elektrisch leitfähigen Beschichtung und dem Substrat zusätzlich eine Schutzschicht aufgebracht werden. Die Schutzschicht besteht typischer Weise wiederum aus einem leitfähigen Material, beispielsweise aus: Eisen (Fe), Nickel (Ni), Kobalt (Co), Kupfer (Cu), Silber (Ag), Gold (Au), Platin (Pt), Wolfram (Wo), Chrom (Cr), Zink (Zn), Iridium (Ir), Indium (In), Zinn (Sn) und deren Legierungen und/oder Verbindungen.

[0029] Die Erfindung betrifft auch eine optische Anordnung, insbesondere ein EUV-Lithographiesystem, umfassend: mindestens ein optisches Element wie weiter oben beschrieben ist. Bei dem optischen Element kann es sich beispielsweise um einen EUV-Spiegel einer EUV-Lithographieanlage handeln, der zur Reflexion von EUV-Strahlung ausgebildet ist.

[0030] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung, anhand der Figuren der Zeichnung, die erfindungswesentliche Einzelheiten zeigen, und aus den Ansprüchen. Die einzelnen Merkmale können je einzeln für sich oder zu mehreren in beliebiger Kombination bei einer Variante der Erfindung verwirklicht sein.

Zeichnung

[0031] Ausführungsbeispiele sind in der schematischen Zeichnung dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung erläutert. Es zeigt

[0032] Fig. 1 eine schematische Darstellung einer EUV-Lithographieanlage,

[0033] Fig. 2 eine schematische Darstellung eines reflektierenden optischen Elements mit einer elektrisch leitenden Beschichtung, die aus einer ersten, unter einer Zugspannung stehenden Schicht besteht,

[0034] Fig. 3 eine schematische Darstellung analog zu Fig. 2, bei der die elektrisch leitende Beschichtung eine zweite, unter einer Druckspannung stehende Schicht aufweist, welche die Zugspannung der ersten Schicht kompensiert, sowie

[0035] Fig. 4 eine schematische Darstellung analog zu Fig. 3, bei der sich die elektrisch leitende Beschichtung an der Oberseite des Substrats seitlich über die reflektierende Beschichtung hinaus erstreckt.

[0036] In der folgenden Beschreibung der Zeichnungen werden für gleiche bzw. funktionsgleiche Bauteile identische Bezugszeichen verwendet.

[0037] In Fig. 1 ist schematisch ein EUV-Lithographiesystem in Form einer Projektionsbelichtungsan-

lage 1 für die EUV-Lithographie gezeigt. Die Projektionsbelichtungsanlage 1 weist ein Strahlformungssystem 2, ein Beleuchtungssystem 3 und ein Projektionssystem 4 auf, die in separaten Vakuum-Gehäusen untergebracht und aufeinander folgend in einem von einer EUV-Lichtquelle 5 des Strahlformungssystems 2 ausgehenden Strahlengang 6 angeordnet sind. Als EUV-Lichtquelle 5 kann beispielsweise eine Plasmaquelle oder ein Synchrotron dienen. Die aus der Lichtquelle 5 austretende Strahlung im Wellenlängenbereich zwischen ca. 5 nm und ca. 20 nm wird zunächst in einem Kollimator 7 gebündelt. Mit Hilfe eines nachfolgenden Monochromators 8 wird durch Variation des Einfallswinkels, wie durch einen Doppelpfeil angedeutet, die gewünschte Betriebswellenlänge λ_B herausgefiltert, die im vorliegenden Beispiel bei ca. 13,5 nm liegt. Der Kollimator 7 und der Monochromator 8 sind als reflektive optische Elemente ausgebildet.

[0038] Die im Strahlformungssystem 2 im Hinblick auf Wellenlänge und räumliche Verteilung behandelte Strahlung wird in das Beleuchtungssystem 3 eingeführt, welches ein erstes und zweites reflektives optisches Element 9, 10 aufweist. Die beiden reflektiven optischen Elemente 9, 10 leiten die EUV-Strahlung auf eine Photomaske 11 als weiterem reflektiven optischen Element, welches eine Struktur aufweist, die mittels des Projektionssystems 4 in verkleinertem Maßstab auf einen Wafer 12 abgebildet wird. Hierzu sind im Projektionssystem 4 ein drittes und viertes reflektives optisches Element 13, 14 vorgesehen.

[0039] Nachfolgend wird anhand von Fig. 2 bis Fig. 4 beispielhaft das Design des vierten optischen Elements 14 näher beschrieben; das erste bis dritte optische Element 11, 12, 13 weisen ein entsprechendes Design auf. Das (vierte) optische Element 14 weist ein Substrat 15 aus einem Material mit einem niedrigen thermischen Ausdehnungskoeffizienten auf, der typischer Weise bei weniger als 100 ppb/K bei 22°C bzw. über einen Temperaturbereich von ca. 5°C bis ca. 35°C liegt. Ein Material, welches diese Eigenschaften aufweist, ist mit Titandioxid dotiertes Silikat- bzw. Quarzglas, das typischer Weise einen Silikatglasanteil von mehr als 90 % aufweist. Ein solches auf dem Markt erhältliches Silikatglas wird von der Fa. Corning Inc. unter dem Handelsnamen ULE® (Ultra Low Expansion glass) vertrieben. Eine weitere Materialgruppe, welche einen sehr geringen thermischen Ausdehnungskoeffizienten aufweist, sind Glaskeramiken, bei denen das Verhältnis der Kristallphase zur Glasphase so eingestellt wird, dass sich die thermischen Ausdehnungskoeffizienten der unterschiedlichen Phasen nahezu aufheben. Solche Glaskeramiken werden z.B. unter den Handelsnamen Zerodur® von der Fa. Schott AG bzw. unter dem Handelsnamen Clearceram® von der Fa. Ohara Inc. angeboten.

[0040] Auf das Substrat 15 ist eine reflektierende Beschichtung 16 aufgebracht, die eine Mehrzahl von Einzelschichten 17a, 17b aufweist, die aus unterschiedlichen Materialien bestehen. Im vorliegenden Fall bestehen die Einzelschichten abwechselnd aus Materialien mit unterschiedlichen Brechungsindizes. Liegt die Betriebswellenlänge λ_B wie im vorliegenden Beispiel bei ca. 13,5 nm, so bestehen die Einzelschichten üblicherweise aus Molybdän und Silizium. Andere Materialkombinationen wie z.B. Molybdän und Beryllium, Ruthenium und Beryllium oder Lanthan und B₄C sind ebenfalls möglich. Zusätzlich zu den beschriebenen Einzelschichten kann die reflektierende Beschichtung 16 auch Zwischenschichten bzw. Barriere-Schichten zur Verhinderung von Diffusion beinhalten. Auf die Darstellung solcher Hilfschichten in den Figuren wurde verzichtet.

[0041] Die reflektierende Beschichtung 16 weist auch eine Deckschicht 18 auf, um die darunter liegenden Einzelschichten 17a, 17b zu schützen und beispielsweise deren Oxidation zu verhindern. Die Deckschicht 18 besteht im vorliegenden Beispiel aus Ruthenium. Es versteht sich, dass auch andere Materialien, insbesondere metallische Materialien wie Rhodium, Palladium, Platin, Iridium, Niobium, Vanadium, Chrom, Zink oder Zinn als Deckschicht-Materialien verwendet werden können. Es versteht sich ebenfalls, dass die Deckschicht 18 für die EUV-Strahlung 6 durchlässig ist.

[0042] Alternativ zu der in Fig. 2 gezeigten reflektierenden Beschichtung 16, die für unter normalem Einfall auftreffende EUV-Strahlung 6 ausgebildet ist, kann die reflektierende Beschichtung 16 für unter streifendem Einfall auftreffende EUV-Strahlung 6 ausgebildet bzw. optimiert sein. In diesem Fall kann die reflektierende Beschichtung 16 ggf. nur eine einzige Schicht aufweisen, die beispielsweise aus einem metallischen Material, insbesondere aus Mo, Ru oder Nb gebildet sein kann.

[0043] Bei dem in Fig. 2 gezeigten Beispiel ist zwischen der reflektierenden Beschichtung 16 und dem Substrat 15 eine elektrisch leitende Beschichtung 19 angeordnet, die nur aus einer einzigen Schicht aus einem Edelmetall, im gezeigten Beispiel aus Gold, besteht. Die elektrisch leitende Beschichtung 19 weist bei dem in Fig. 2 gezeigten Beispiel einen Abschnitt auf, der sich an einer Seitenfläche des Substrats 15 erstreckt, um die elektrisch leitende Beschichtung 19 elektrisch kontaktieren zu können. Die elektrische Kontaktierung erfolgt bei dem in Fig. 2 gezeigten Beispiel durch eine elektrische Leitung 21, die beispielsweise mit Masse-Potential verbunden sein kann, um das optische Element 14 zu erden. Die Leitung 21 kann auch dazu dienen, um einen Photostrom, der durch die Bestrahlung mit der EUV-Strahlung 6 in der reflektierenden Beschichtung 16 erzeugt wird, von dem optischen Element 14 abzuleiten und den Pho-

tostrom beispielsweise in einem Ladungsverstärker zu messen.

[0044] Die elektrisch leitende Beschichtung **19** wird mit Hilfe von herkömmlichen Beschichtungsverfahren hergestellt, und zwar typischer Weise durch „Physical Vapor Deposition“ (PVD)-Verfahren wie z.B. thermisches Verdampfen oder Elektronenstrahl-Verdampfen, Ionenstrahl- bzw. Magnetronspütern oder Pulsed Laser Deposition, oder Beschichtungsverfahren, die auf „Chemical Vapor Deposition“ (CVD) beruhen. Beim Aufbringen der elektrisch leitenden Beschichtung **19** wird eine Schichtspannung erzeugt, die bei dem in **Fig. 2** gezeigten Beispiel, bei dem Gold als Material für die elektrisch leitende Beschichtung **19** verwendet wird, zu einer Zugspannung in der elektrisch leitenden Beschichtung führt, wie in **Fig. 2** durch zwei seitliche Pfeile an der elektrisch leitenden Beschichtung **19** angedeutet ist.

[0045] Die Zugspannung hat bei den typischer Weise für die elektrisch leitende Beschichtung **19** verwendeten Dicke D von typischer Weise zwischen ca. 50 nm und ca. 1000 nm, im gezeigten Beispiel bei ca. 300 nm, zur Folge, dass sich das Substrat **15** verbiegt, so dass dieses an seiner der reflektierenden Beschichtung **16** zugewandten Seite eine konkave Krümmung ausbildet, die in **Fig. 2** zur Verdeutlichung stark übertrieben dargestellt ist. Die elektrisch leitende Schicht **19** führt somit zu einer Abweichung der Oberflächenform des optischen Elements **14** von einer Soll-Oberflächenform (Soll-Passe), bei der es sich bei dem in **Fig. 2** gezeigten Beispiel um eine plane Oberflächenform handelt. Die Abweichung von der Soll-Oberflächenform führt zu Aberrationen des optischen Elements **14** beim Betrieb in der EUV-Lithographieanlage **1**.

[0046] Um die unerwünschte Deformation des Substrats **15** und damit der Oberflächenform des optischen Elements **14** zu vermeiden, weist bei dem in **Fig. 3** dargestellten Beispiel die elektrisch leitende Beschichtung **19** eine erste, unter einer Zugspannung stehende Schicht **22a** und eine zweite, unter einer Druckspannung stehende Schicht **22b** auf. Die erste, unter der Zugspannung stehende Schicht **22a** und/oder die zweite unter Druckspannung stehende Schicht **22b** können beispielsweise aus einem Material gebildet sein, welches ausgewählt ist aus der Gruppe umfassend: Silber, Kupfer, Gold, Aluminium, Rhodium, Iridium, Wolfram, Molybdän, Cobalt, Nickel, Ruthenium, Indium, Osmium, Eisen, Platin, Palladium, Chrom, Tantal, Titan, Zr, Re. Sowohl die erste als auch die zweite Schicht **22a**, **22b** der elektrisch leitenden Beschichtung **19** können an Stelle eines metallischen Materials z.B. auch aus einer (elektrisch leitenden) Legierung gebildet sein. Ob die erste bzw. zweite Schicht **22a**, **22b** unter einer Zugspannung oder einer Druckspannung steht, hängt neben dem verwendeten Material auch von dem Beschichtungs-

verfahren ab, mit dem das jeweilige Material aufgebracht wird. Im gezeigten Beispiel ist die erste Schicht **22a**, die aus Gold besteht, durch Elektronenstrahl-Verdampfen aufgebracht, wodurch sich in der ersten Schicht **22a** eine Zugspannung ausbildet. Die zweite Schicht **22b** besteht im gezeigten Beispiel aus Ruthenium und wurde durch Sputtern hergestellt, wodurch sich in dem Ruthenium-Material der zweiten Schicht **22b** eine Druckspannung ausbildet.

[0047] Bei dem in **Fig. 3** gezeigten Beispiel sind die Zugspannung der ersten Schicht **22a** und die Druckspannung der zweiten Schicht **22b** so gewählt, dass die resultierende Schichtspannung der elektrisch leitenden Beschichtung **19** im Wesentlichen verschwindet, so dass die plane Soll-Oberflächenform des Substrats **15** und somit auch der reflektierenden Oberfläche des optischen Elements **14** erzeugt wird.

[0048] Hierbei wird ausgenutzt, dass die unter Druckspannung stehende zweite Schicht **22b** einen Verbiegung des Substrats erzeugt, welche der Verbiegung durch die unter Zugspannung stehenden ersten Schicht **22a** entgegen gesetzt gerichtet ist, da die unter Druckspannung stehende zweite Schicht **22b** eine konvexe Krümmung des Substrats **15** bewirkt. Um die Kompensation der Schichtspannungen der elektrisch leitenden Beschichtung **19** zu erzeugen, sind die Schichtmaterialien und die Dicken der ersten und der zweiten Schicht **22a**, **22b** geeignet aneinander angepasst.

[0049] Wie in **Fig. 3** ebenfalls zu erkennen ist, ist zwischen der unter Zugspannung stehenden ersten Schicht **22a** und der unter Druckspannung stehenden zweiten Schicht **22b** eine Barriere-Schicht **23** angeordnet, die eine Diffusion des Materials der ersten Schicht **22a** in die zweite Schicht **22b** (und umgekehrt) im Wesentlichen verhindern soll. Die Barriere-Schicht **23** weist typischer Weise eine so geringe Dicke (z.B. von weniger als 1 nm) auf, dass deren Schichtspannung auf die elektrisch leitende Beschichtung **19** praktisch vernachlässigbar ist. Es versteht sich aber, dass erforderlichenfalls der Einfluss der Zug- bzw. der Druckspannung der Barriere-Schicht **23** auf die resultierende Schichtspannung der elektrisch leitenden Beschichtung **19** berücksichtigt werden muss. Es versteht sich ebenfalls, dass die elektrisch leitende Beschichtung **19** ggf. mehr als eine unter einer Zugspannung stehende Schicht **22a** und eine unter einer Druckspannung stehende Schicht **22b** sowie ggf. weitere Barriere-Schichten aufweisen kann. Das Material der Barriere-Schicht **23** kann beispielsweise ausgewählt sein aus der Gruppe umfassend: W, Ta, Y, Mo, Zr, Ti, Hf, Sc, deren Legierungen und/oder Verbindungen, insbesondere Carbide, Nitride, Boride, Silizide, C und B_4C .

[0050] An Stelle einer im Wesentlichen vollständigen Kompensation der Schichtspannungen der unter

Zug- bzw. unter Druckspannung stehenden Schichten **22a**, **22b** ist es auch möglich, mit Hilfe der elektrisch leitenden Beschichtung **19** eine vorgegebene resultierende Schichtspannung zu erzeugen, die genutzt werden kann, um Schichtspannungen, die in der reflektierenden Beschichtung **16** durch den Beschichtungsvorgang auftreten, ganz oder teilweise zu kompensieren. Um ggf. lokal variierende Schichtspannungen in der reflektierenden Beschichtung **16** kompensieren zu können, kann die elektrisch leitende Beschichtung **19** eine ortsabhängige Variation der Dicke der einzelnen unter Zug- bzw. unter Druckspannung stehenden Schichten **22a**, **22b** aufweisen. Eine solche, ggf. ortsabhängige Variation der Schichtdicken und/oder der verwendeten Schichtmaterialien bzw. der Zusammensetzung der Schichten **22a**, **22b** kann ggf. auch aus anderen Gründen erfolgen, beispielsweise um einen Schutz gegen den Einfluss der EUV-Strahlung **6** auf das Substrat **15** zu erreichen.

[0051] Zum Schutz des Substrats **15** vor der EUV-Strahlung **6** sollten diejenigen Schichten **22a**, **22b** der elektrisch leitenden Beschichtung **19**, die eine hohe Absorption für die EUV-Strahlung **6** aufweisen, idealerweise eine größere Dicke aufweisen als diejenigen Schichten **22a**, **22b**, die eine geringe Absorption für die EUV-Strahlung **6** aufweisen. Bei dem in **Fig. 2** gezeigten Beispiel kann die erste Schicht **22a**, die aus Gold besteht, beispielsweise eine Dicke D_1 aufweisen, die größer ist als die Dicke D_2 der zweiten Schicht **22b**, die aus Ruthenium besteht, da Gold eine größere Absorption für die EUV-Strahlung **6** als Ruthenium aufweist. Materialien, die zum Schutz des Substrats **15** mit einer größeren Dicke aufgebracht werden sollten, können beispielsweise ausgewählt sein aus der Gruppe umfassend: Fe, Ni, Co, Cu, Ag, Au, Pt, Wo, Cr, Zn, Ir, In, Sn und deren Legierungen und/oder Verbindungen.

[0052] Bei dem in **Fig. 3** gezeigten Beispiel weist die elektrisch leitfähige Beschichtung **19** wie bei dem in **Fig. 2** gezeigten Beispiel einen Abschnitt **20** auf, der sich an dem Substrat **15** seitlich über die reflektierende Beschichtung **16** hinaus erstreckt, und zwar wie in **Fig. 2** entlang einer Seitenfläche des Substrats **15**. Der überstehende Abschnitt **20** dient wie in **Fig. 2** der elektrischen Kontaktierung der elektrisch leitenden Beschichtung **19**. An Stelle des Abschnitts **20** der elektrisch leitenden Beschichtung **19** kann bei dem in **Fig. 3** gezeigten Beispiel auch nur ein Teil, beispielsweise eine einzelne der Schichten **22a**, **22b** an der Seitenfläche des Substrats **15** über die reflektierende Beschichtung **16** überstehen, da in diesem Bereich der Einfluss der Zug- bzw. der Druckspannung auf die Oberflächenform des optischen Elements **14** typischer Weise geringer ist als an der Oberseite des Substrats **15**. In der Regel ist es jedoch günstiger, wenn die gesamte (spannungskompensierte) elek-

trisch leitfähige Beschichtung **19** den überstehenden Abschnitt **20** bildet, wie dies in **Fig. 3** dargestellt ist.

[0053] **Fig. 4** zeigt ein weiteres Beispiel eines optischen Elements **14** welches sich von dem in **Fig. 3** gezeigten optischen Element **14** dadurch unterscheidet, dass die elektrisch leitende Beschichtung **19** einen seitlich über die reflektierende Beschichtung **16** überstehenden Abschnitt **20** aufweist, der nicht an der Seitenfläche des Substrats **15**, sondern an dessen Oberseite gebildet ist. Wie in **Fig. 4** zu erkennen ist, kann in diesem Fall die elektrisch leitende Beschichtung **19** an der Oberseite des Substrats **15** mit einer elektrischen Leitung **21** kontaktiert werden, um das optische Element **14** zu erden sowie um ggf. einen Photostrom von diesem abzuleiten.

[0054] Bei dem in **Fig. 4** gezeigten Beispiel ist zudem eine Barriere-Schicht **23** zwischen der reflektierenden Beschichtung **16** und der elektrisch leitenden Beschichtung **19** gebildet, um die Diffusion von Material aus der reflektierenden Beschichtung **16** in die elektrisch leitende Beschichtung **19** (und umgekehrt) zu verhindern. Die Barriere-Schicht **23** besteht im gezeigten Beispiel aus Kohlenstoff, kann aber auch aus einem anderen Material, beispielsweise aus W, Ta, B_4C oder Mo gebildet sein.

[0055] Bei dem in **Fig. 4** gezeigten Beispiel ist zwischen der elektrisch leitenden Beschichtung **19** und dem Substrat **15** eine Schutzschicht **24** gebildet, die zum Schutz des Substrats **15** vor der EUV-Strahlung **6** dient. Diese ist ggf. erforderlich, falls die elektrisch leitende Beschichtung **19** die EUV-Strahlung **6** nicht ausreichend absorbiert, so dass diese zum Substrat **15** gelangen kann. Die Schutzschicht **24** besteht wiederum typischer Weise aus einem leitfähigen Material, beispielsweise aus: Eisen (Fe), Nickel (Ni), Kobalt (Co), Kupfer (Cu), Silber (Ag), Gold (Au), Platin (Pt), Wolfram (Wo), Chrom (Cr), Zink (Zn), Iridium (Ir), Indium (In), Zinn (Sn) und deren Legierungen und/oder Verbindungen. Die Schichtspannung der Schutzschicht **24** kann ggf. unberücksichtigt bleiben, diese kann aber ggf. auch bei der weiter oben beschriebenen Kompensation der Schichtspannungen berücksichtigt werden.

[0056] Mit der weiter oben beschriebenen elektrisch leitenden Beschichtung **19** kann eine Erdung des optischen Elements **14** ohne eine Verschlechterung von dessen optischen Eigenschaften erfolgen. Zudem kann die elektrisch leitende Beschichtung **19** mit einer definierten Vorspannung beaufschlagt werden bzw. zum Ableiten eines Photostroms verwendet werden. Die elektrisch leitende Beschichtung **19** kann insbesondere auch zum Schutz des Substrats **15** vor der EUV-Strahlung **6** dienen.

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

- WO 2008/034582 A2 [0002, 0004]
- WO 2006/033442 A1 [0005]
- JP 2007194406 A [0006]
- US 8564925 B2 [0011]

Patentansprüche

1. Optisches Element (**14**), insbesondere für die EUV-Lithographie, umfassend:
ein Substrat (**15**),

eine auf das Substrat (**15**) aufgebrachte reflektierende Beschichtung (**16**), sowie eine sich zwischen dem Substrat (**15**) und der reflektierenden Beschichtung (**16**) erstreckende elektrisch leitende Beschichtung (**19**),

dadurch gekennzeichnet,

dass die elektrisch leitende Beschichtung (**19**) mindestens eine erste, unter Zugspannung stehende Schicht (**22a**) und mindestens eine zweite, unter Druckspannung stehende Schicht (**22b**) aufweist.

2. Optisches Element nach Anspruch 1, bei dem die erste und/oder die zweite Schicht (**22a**, **22b**) aus einem metallischen Material oder einer metallischen Legierung gebildet ist/sind.

3. Optisches Element nach Anspruch 1 oder 2, bei dem das Material der ersten Schicht (**22a**) und/oder das Material der zweiten Schicht (**22b**) ausgewählt ist aus der Gruppe umfassend: Silber, Kupfer, Gold, Aluminium, Rhodium, Iridium, Wolfram, Molybdän, Kobalt, Nickel, Ruthenium, Indium, Osmium, Eisen, Platin, Palladium, Chrom, Tantal, Titan, Zr, Re und deren Legierungen.

4. Optisches Element nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die elektrisch leitende Beschichtung (**19**) mindestens eine Barriere-Schicht (**23**) aufweist, die zwischen der ersten Schicht (**22a**) und der zweiten Schicht (**22b**) angeordnet ist.

5. Optisches Element nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem zwischen der reflektierenden Beschichtung (**16**) und der elektrisch leitenden Beschichtung (**19**) mindestens eine Barriere-Schicht (**23**) angeordnet ist.

6. Optisches Element nach Anspruch 4 oder 5, bei dem das Material der Barriere-Schicht (**23**) ausgewählt ist aus der Gruppe umfassend: W, Ta, Y, Mo, Zr, Ti, Hf, Sc, deren Legierungen und/oder Verbindungen, insbesondere Carbide, Nitride, Boride, Silizide, C und B₄C.

7. Optisches Element nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die elektrisch leitende Beschichtung (**19**) eine Dicke (D) zwischen 50 nm und 1000 nm aufweist.

8. Optisches Element nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die erste Schicht (**22a**) eine Dicke (D1) aufweist, die größer ist als die Dicke (D2) der zweiten Schicht (**22b**) und bei dem das Material der ersten Schicht (**22a**) eine größere Absorp-

tion für EUV-Strahlung (**6**) aufweist als das Material der zweiten Schicht (**22b**), oder umgekehrt.

9. Optisches Element nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die elektrisch leitende Beschichtung (**19**) mindestens einen Abschnitt (**20**) aufweist, der sich an dem Substrat (**15**) seitlich über die reflektierende Beschichtung (**16**) hinaus erstreckt.

10. Optisches Element nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die reflektierende Beschichtung (**16**) eine Mehrzahl von alternierenden Einzelschichten (**17a**, **17b**) aus Materialien mit unterschiedlichen Brechungsindizes aufweist.

11. Optisches Element nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem zwischen der elektrisch leitenden Beschichtung (**19**) und dem Substrat (**15**) mindestens eine Schutzschicht (**24**) zum Schutz des Substrats (**15**) vor EUV-Strahlung (**6**) angebracht ist.

12. Optische Anordnung, insbesondere EUV-Lithographiesystem (**1**), umfassend:
mindestens ein optisches Element (**14**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

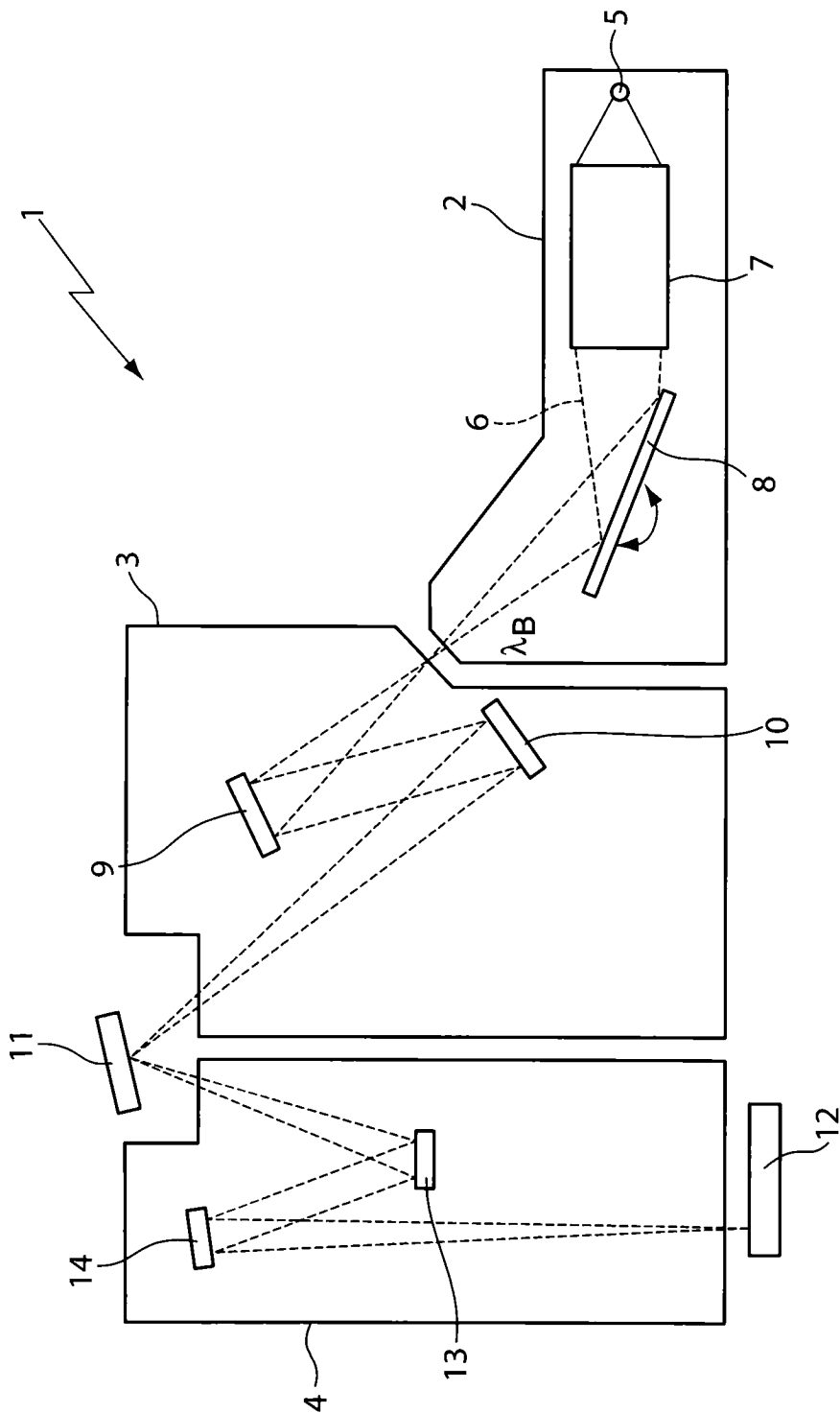


Fig. 1

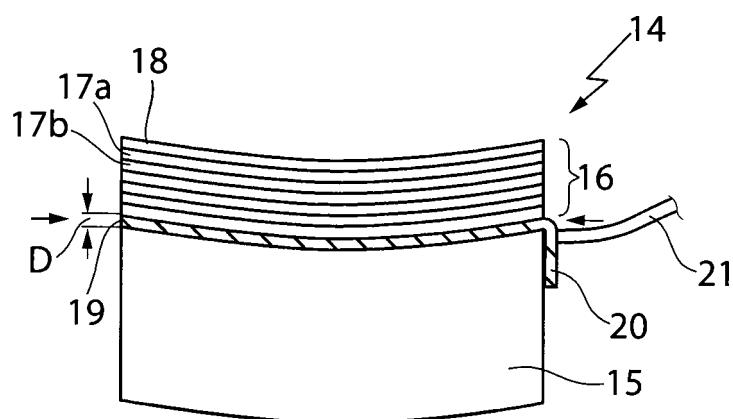


Fig. 2

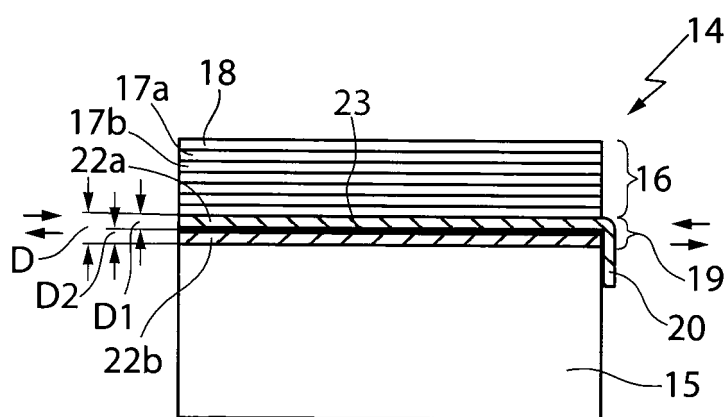


Fig. 3

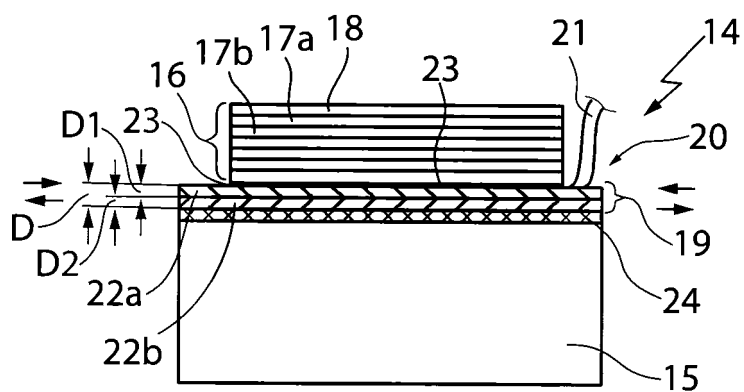


Fig. 4