



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2013 223 895.9**
(22) Anmeldetag: **22.11.2013**
(43) Offenlegungstag: **28.05.2015**

(51) Int Cl.: **G02B 1/10** (2006.01)
G02B 5/08 (2006.01)
G03F 7/20 (2006.01)
G21K 1/06 (2006.01)

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

(56) Ermittelter Stand der Technik:
US 2010 / 0 239 822 A1

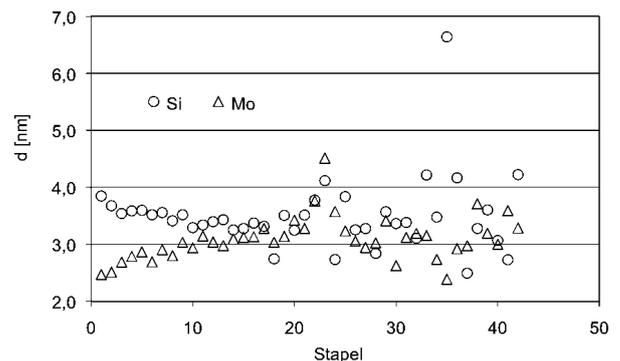
(72) Erfinder:
Enkisch, Hartmut, 73431 Aalen, DE; Paul, Hans-Jochen, 73431 Aalen, DE

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Reflektives optisches Element und optisches System für die EUV-Lithographie**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein reflektives optisches Element für den extrem ultravioletten Wellenlängenbereich mit einem Viellagensystem auf einem Substrat vorgeschlagen, wobei das Viellagensystem Lagen aus mindestens zwei verschiedenen Materialien aufweist, die sich durch einen unterschiedlichen Realteil des Brechungsindex bei einer Wellenlänge im EUV-Wellenlängenbereich unterscheiden, wobei Lagen mit höheren und niedrigerem Realteil des Brechungsindex abwechselnd angeordnet sind und eine Lage eines bestimmten Materials zusammen mit den zwischen ihr und der oder den in zunehmender Entfernung vom Substrat nächstgelegenen Lage gleichen Materials angeordneten Lagen einen Stapel bildet, wobei das Viellagensystem N Stapel aufweist und jeder Stapel S_i mit $i = 1$ bis N eine Gesamtdicke D_i und ein Lagendickenverhältnis Γ_i der Lagen des Stapels i aufweist, das sich dadurch auszeichnet, dass die Werte der D_i und Γ_i stochastisch verteilt sind und das Viellagensystem mindestens zwei Abschnitte aufweist, wobei in einem Abschnitt die Wahrscheinlichkeit, dass entweder die Dicken D_i, D_{i+1} oder die Lagendickenverhältnisse Γ_i, Γ_{i+1} zweier aufeinanderfolgender Stapel S_i, S_{i+1} um weniger als 10% voneinander abweichen, größer ist als in dem oder den anderen Abschnitten. Derartige reflektive optische Elemente lassen sich als Breitbandspiegel optimieren und über Röntgendiffraktometrie in ihrem Aufbau des Viellagensystems kontrollieren.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein reflektives optisches Element für den extrem ultravioletten Wellenlängenbereich mit einem Viellagensystem auf einem Substrat, wobei das Viellagensystem Lagen aus mindestens zwei verschiedenen Materialien aufweist, die sich durch einen unterschiedlichen Realteil des Brechungsindex bei einer Wellenlänge im EUV-Wellenlängenbereich unterscheiden, wobei Lagen mit höheren und niedrigerem Realteil des Brechungsindex abwechselnd angeordnet sind und eine Lage eines bestimmten Materials zusammen mit den zwischen ihr und der oder den in zunehmender Entfernung vom Substrat nächstgelegenen Lage gleichen Materials angeordneten Lagen einen Stapel bildet, wobei das Viellagensystem N Stapel aufweist und jeder Stapel S_i mit $i = 1$ bis N eine Gesamtdicke D_i und ein Lagendickenverhältnis Γ_i der Lagen des Stapels i aufweist. Außerdem bezieht sich die vorliegende Erfindung auf ein optisches System für die EUV-Lithographie sowie eine EUV-Lithographievorrichtung mit einem derartigen reflektiven optischen Element. Das Lagendickenverhältnis Γ_i ist definiert als Verhältnis der geometrischen Dicke der Lage aus Material mit niedrigerem Realteil des Brechungsindex eines Stapels S_i zu dessen geometrischer Gesamtdicke D_i .

[0002] In EUV-Lithographievorrichtungen werden zur Lithographie von Halbleiterbauelementen reflektive optische Elemente für den extremen ultravioletten (EUV-)Wellenlängenbereich (z.B. Wellenlängen zwischen ca. 5 nm und 20 nm) wie etwa Photomasken oder Spiegel auf der Basis von Viellagensystemen eingesetzt. Da EUV-Lithographievorrichtungen in der Regel mehrere reflektive optische Elemente aufweisen, müssen diese eine möglichst hohe Reflektivität aufweisen, um eine hinreichend hohe Gesamtreflektivität sicherzustellen.

[0003] Unter anderem um einen möglichst hohen Strahlungsdurchsatz durch eine EUV-Lithographievorrichtung zu gewährleisten, wird angestrebt, bei hohen lokalen Einfallswinkelbandbreiten alle Strahlen des lokalen Strahlenbündels an den einzelnen reflektiven optischen Elementen möglichst gleichmäßig gut reflektieren zu können. Dazu werden die Anzahl und die Dicken der einzelnen Stapel des Viellagensystems optimiert. Im einfachsten Fall handelt es sich um periodische Viellagensysteme, also Viellagensysteme mit im wesentlichen identischen Stapeln, die dann Periode genannt werden, bei denen die Anzahl der Perioden so weit reduziert wird, dass die Reflektivitätskurve die gewünschte Breite bekommt. Bei dieser Art Viellagensystem variiert aber die Reflektivität noch stark mit dem Einfallswinkel und der Wellenlänge.

[0004] In einem weiteren Schritt kann man im Viellagensystem zwei Abschnitte vorsehen, bei denen die

jeweilige Stapelgesamtdicke und das Lagendickenverhältnis innerhalb der Stapel unterschiedlich sind. Ferner können diese beiden Abschnitte auch unterschiedliche Stapelanzahlen aufweisen. In Varianten können auch drei oder mehr Abschnitte unterschiedlicher Stapelgesamtdicke und Lagendickenverhältnisse vorgesehen sein.

[0005] Ein weiterer Ansatz besteht darin, dass die Randbedingungen für die Dicken der einzelnen Lagen völlig aufgehoben werden. Dies führt zu völlig stochastischen bzw. aperiodisch genannten Viellagensystemen. Auf diese Weise lassen sich am flexibelsten Viellagensysteme entwerfen, deren Reflektivität möglichst wenig mit dem Einfallswinkel und der Wellenlänge variiert. Ein Merkmal der stochastischen Viellagensysteme ist, dass sehr viele verschiedene Lagendickenabfolgen sehr ähnliche Reflektivitätskurven sowohl in Abhängigkeit von der Wellenlänge als auch vom Einfallswinkel zur Folge haben können.

[0006] Für die Leistungsfähigkeit und die optischen Eigenschaften eines reflektiven optischen Elementes, das zusammen mit weiteren reflektiven optischen Elementen in einer EUV-Lithographievorrichtung genutzt wird, ist zusätzlich zum vertikalen Aufbau des Viellagensystems auch der laterale Verlauf der einzelnen Lagendicken wesentlich, der auch Profil genannt wird. Um den lateralen Verlauf während der Herstellung eines reflektiven optischen Elementes zu kontrollieren, kann beispielsweise mit Röntgenbeugung gearbeitet werden. Dazu wird die Reflektivität in Abhängigkeit vom Einfallswinkel gemessen. Für reflektive optische Elemente für den EUV-Wellenlängenbereich bietet sich dabei die Kupfer-K α -Röntgenwellenlinie an. Eine besonders genaue Charakterisierung des lateralen Verlaufs der Lagendicken ist möglich, wenn das Diffraktogramm hinreichend viele und hinreichend scharfe Peaks aufweist.

[0007] Es ist nun eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein reflektives optisches Element bereitzustellen, das sowohl einen wohldefinierten vertikalen als auch lateralen Verlauf der Lagendicken aufweisen kann.

[0008] Diese Aufgabe wird gelöst durch ein reflektives optisches Element für den extrem ultravioletten Wellenlängenbereich mit einem Viellagensystem auf einem Substrat, wobei das Viellagensystem Lagen aus mindestens zwei verschiedenen Materialien aufweist, die sich durch einen unterschiedlichen Realteil des Brechungsindex bei einer Wellenlänge im EUV-Wellenlängenbereich unterscheiden, wobei Lagen mit höherem und niedrigerem Realteil des Brechungsindex abwechselnd angeordnet sind und eine Lage eines bestimmten Materials zusammen mit den zwischen ihr und der oder den in zunehmender Entfernung vom Substrat nächstgelegenen Lage gleichen Materials angeordneten Lagen einen Stapel bil-

det, wobei das Viellagensystem N Stapeln aufweist und jeder Stapel S_i mit $i = 1$ bis N eine Gesamtdicke D_i und ein Lagendickenverhältnis Γ_i der Lagen des Stapels i aufweist, bei welchem reflektiven optischen Element die Werte der D_i und Γ_i stochastisch verteilt sind und das Viellagensystem mindestens zwei Abschnitte aufweist, wobei in einem Abschnitt die Wahrscheinlichkeit, dass entweder die Dicken D_i , D_{i+1} oder die Lagendickenverhältnisse Γ_i , Γ_{i+1} zweier aufeinanderfolgender Stapel S_i , S_{i+1} um weniger als 10% voneinander abweichen, größer ist als in dem oder den anderen Abschnitten. Bevorzugt werden die Dicken D_i , D_{i+1} oder die Lagendickenverhältnisse Γ_i , Γ_{i+1} zweier aufeinanderfolgender Stapel S_i , S_{i+1} in den einem Abschnitt so gewählt, dass die Wahrscheinlichkeit betrachtet werden kann, dass sie weniger als 1% voneinander abweichen. Abschnitte, in denen die Abweichung für alle Stapel geringer als 1% ist, können als periodisch betrachtet werden.

[0009] Es hat sich herausgestellt, dass reflektive optische Elemente mit beliebigen stochastischen Viellagensystem nicht zwingend für die Diffraktometrie der Kupfer-K α -Linie geeignet sind, da sie teilweise nur wenige und unscharfe Peaks aufweisen können. Vorgeschlagen werden nun reflektive optische Elemente mit einer Klasse von stochastischen Viellagensystem, die hinreichend viele und scharfe Peaks aufweisen, um eine laterale Schichtdickenoptimierung mithilfe der Röntgen-Diffraktometrie zu erlauben. Indem mindestens ein Abschnitt im Viellagensystem vorgesehen wird, dessen Stapel nicht zu stark von der Periodizität abweichen, wird bei diesen reflektiven optischen Elementen für die Diffraktometrie beispielsweise mit Kupfer-K α -Linien eine gewisse Anzahl von hinreichend scharfen Peaks zur Verfügung gestellt, so dass sich der laterale Lagendickenverlauf bei der Herstellung der reflektiven optischen Elemente gut kontrollieren lässt. Die das Ausbilden von Peaks fördernde Periodizität kann nun dadurch angenähert werden, dass in mindestens einem Abschnitt entweder die Gesamtdicken der einzelnen Stapel nicht sehr stark voneinander abweichen oder die Dickenverhältnisse nur wenig voneinander abweichen.

[0010] In bevorzugten Ausführungsformen ist der Abschnitt mit einer größeren Wahrscheinlichkeit, dass entweder in Bezug auf die Stapeldicke oder in Bezug auf das Dickenverhältnis innerhalb der Stapel des Abschnittes weniger von der Periodizität gewichen wird als in den oder dem weiteren Abschnitten des Viellagensystems, weiter vom Substrat entfernt angeordnet als der oder die Abschnitte mit geringerer Wahrscheinlichkeit. Dadurch kann gewährleistet werden, dass die vorhandenen Peaks besonders scharf sind.

[0011] Vorzugsweise werden genau zwei Abschnitte mit unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten im Viellagensystem vorgesehen, was den Aufwand bei dem

Entwerfen des Viellagensystems und der Herstellung der reflektiven optischen Elemente reduziert.

[0012] In besonders bevorzugten Ausführungsformen sind in dem Abschnitt mit höherer Wahrscheinlichkeit, weniger von der Periodizität abzuweichen, die Dicken D_i und die Lagendickenverhältnisse Γ_i derart gewählt, dass für alle Stapel S_i dieses Abschnitts $|(D_i - D_{i+1})/D_i| \leq 0,1$ ist und Γ_i mit zunehmenden Abstand zum Substrat eher abnimmt als zunimmt. Durch das Einhalten dieser besonderen Randbedingungen für diesen Abschnitt, dass die Stapeldicken im Wesentlichen konstant ist und die Lagendickenverhältnisse innerhalb der Stapel mit zunehmendem Abstand zum Substrat tendenziell abnehmen, lassen sich reflektive optische Elemente zur Verfügung stellen, die einerseits auch bei hohen lokalen Einfallswinkelbandbreiten und über etwas breitere Wellenlängenbereiche gleichmäßig gut reflektieren und gleichzeitig hinreichend viele und scharfe Peaks für die Charakterisierung des lateralen Verlaufes der Lagendicken mittels Röntgendiffraktometrie aufweisen.

[0013] Vorzugsweise werden als Material mit geringem Realteil des Brechungsindex bei einer Wellenlänge im EUV-Wellenlängenbereich Molybdän, Ruthenium und/oder Rhodium eingesetzt und als Material mit höherem Realteil des Brechungsindex Silizium. Reflektive optische Elemente mit einem Viellagensystem, das auf einer dieser Materialkombinationen beruht, sind insbesondere geeignet für den Einsatz bei Wellenlängen zwischen 12,5 nm und 15 nm.

[0014] Ferner wird die Aufgabe gelöst durch ein optisches System für die EUV-Lithographie bzw. durch eine EUV-Lithographievorrichtung mit mindestens einem reflektiven optischen Element wie zuvor beschrieben.

[0015] Die vorliegende Erfindung soll unter Bezugnahme auf ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel näher erläutert werden. Dazu zeigen

[0016] Fig. 1 schematisch eine Ausführungsform einer EUV-Lithographievorrichtung mit einem Beleuchtungssystem mit Kollektorspiegel mit Schutzlagensystem;

[0017] Fig. 2 eine schematische Darstellung eines reflektiven optischen Elements;

[0018] Fig. 3 die Reflektivität in Abhängigkeit von der Wellenlänge für reflektive optische Elemente mit unterschiedlichen Viellagensystemen;

[0019] Fig. 4 die Struktur eines zweiteiligen periodischen Viellagensystems;

[0020] Fig. 5 die Struktur eines zweiteiligen aperiodischen Viellagensystems;

[0021] Fig. 6 das Diffraktogramm des Viellagensystems aus Fig. 4;

[0022] Fig. 7 das Diffraktogramm des Viellagensystems aus Fig. 5; und

[0023] Fig. 8 das Diffraktogramm eines rein periodischen Viellagensystems.

[0024] In Fig. 1 ist schematisch eine EUV-Lithographievorrichtung **10** dargestellt. Wesentliche Komponenten sind das Beleuchtungssystem **14**, die Photomaske **17** und das Projektionssystem **20**. Die EUV-Lithographievorrichtung **10** wird unter Vakuumbedingungen betrieben, damit die EUV-Strahlung in ihrem Inneren möglichst wenig absorbiert wird.

[0025] Als Strahlungsquelle **12** kann beispielsweise eine Plasmaquelle oder auch ein Synchrotron dienen. Im hier dargestellten Beispiel handelt es sich um eine Plasmaquelle. Die emittierte Strahlung im Wellenlängenbereich von etwa 5 nm bis 20 nm wird zunächst vom Kollektorspiegel **13** gebündelt. Der Betriebsstrahl wird dann in das Beleuchtungssystem **14** eingeführt. Im in Fig. 1 dargestellten Beispiel weist das Beleuchtungssystem **14** zwei Spiegel **15**, **16** auf. Die Spiegel **15**, **16** leiten den Strahl auf die Photomaske **17**, die die Struktur aufweist, die auf den Wafer **21** abgebildet werden soll. Bei der Photomaske **17** handelt es sich ebenfalls um ein reflektives optisches Element für den EUV- und weichen Röntgenwellenlängenbereich, das je nach Herstellungsprozess ausgewechselt wird. Mit Hilfe des Projektionssystems **20** wird der von der Photomaske **17** reflektierte Strahl auf den Wafer **21** projiziert und dadurch die Struktur der Photomaske auf ihn abgebildet. Das Projektionssystem **20** weist im dargestellten Beispiel zwei Spiegel **18**, **19** auf. Es sei darauf hingewiesen, dass sowohl das Projektionssystem **20** als auch das Beleuchtungssystem **14** jeweils nur einen oder auch drei, vier, fünf und mehr Spiegel aufweisen können.

[0026] Um über möglichst große Einfallswinkel und Einfallswinkelbereiche eine möglichst hohe und konstante Reflektivität zu gewährleisten, weisen einer oder mehrere der Spiegel oder auch die Photomaske ein Viellagensystem auf, wobei das Viellagensystem Lagen aus mindestens zwei verschiedenen Materialien aufweist, die sich durch einen unterschiedlichen Realteil des Brechungsindex bei einer Wellenlänge im EUV-Wellenlängenbereich unterscheiden, wobei Lagen mit höheren und niedrigerem Realteil des Brechungsindex abwechselnd angeordnet sind und eine Lage eines bestimmten Materials zusammen mit den zwischen ihr und der oder den in zunehmender Entfernung vom Substrat nächstgelegenen Lage gleichen Materials angeordneten Lagen einen Stapel bildet, wobei das Viellagensystem N Stapel aufweist und jeder Stapel S_i mit $i = 1$ bis N eine Gesamtdicke D_i und ein Lagendickenverhältnis Γ_i der

Lagen des Stapels i aufweist, die Werte der D_i und Γ_i stochastisch verteilt sind und das Viellagensystem mindestens zwei Abschnitte aufweist, wobei in einem Abschnitt die Wahrscheinlichkeit, dass entweder die Dicken D_i , D_{i+1} oder die Lagendickenverhältnisse Γ_i , Γ_{i+1} zweier aufeinanderfolgender Stapel S_i , S_{i+1} um weniger als 10% voneinander abweichen, in einem der Abschnitte größer als dem oder den anderen Abschnitten ist. Diese Spiegel bzw. die Photomaske ließen sich bei ihrer Herstellung gut in Hinblick auf den lateralen Lagendickenverlauf im Viellagensystem optimieren, der sich gut über Röntgen-Diffraktometrie kontrollieren ließe.

[0027] In Fig. 2 ist schematisch die Struktur eines reflektiven optischen Elements **50** dargestellt. Bei dem dargestellten Beispiel handelt es sich um ein reflektives optisches Element, das auf einem Viellagensystem **51** basiert. Dabei handelt es sich im wesentlichen um alternierend aufgebrachte Lagen eines Materials mit höherem Realteil des Brechungsindex bei der Arbeitswellenlänge, bei der beispielsweise die lithographische Belichtung durchgeführt wird, (auch Spacer **55** genannt) und eines Materials mit niedrigerem Realteil des Brechungsindex bei der Arbeitswellenlänge (auch Absorber **54** genannt), wobei ein Absorber-Spacer-Paar einen Stapel **53** bildet, der bei periodischen Viellagensystemen einer Periode entspricht. Dadurch wird insbesondere bei periodischen Viellagensystemen in gewisser Weise ein Kristall simuliert, dessen Netzebenen den Absorberlagen entsprechen, an denen Bragg-Reflexion stattfindet. Die Dicken der einzelnen Lagen **54**, **55** wie auch der sich wiederholenden Stapel **53** können über das gesamte Viellagensystem **51** konstant sein oder auch variieren, je nach dem, welches spektrale oder winkelabhängige Reflexionsprofil erreicht werden soll. Das Reflexionsprofil kann auch gezielt beeinflusst werden, indem die Grundstruktur aus Absorber **54** und Spacer **55** um weitere mehr und weniger absorbierende Materialien ergänzt wird, um die mögliche maximale Reflektivität bei der jeweiligen Arbeitswellenlänge zu erhöhen. Dazu können in manchen Stapeln Absorber und/oder Spacer-Materialien gegeneinander ausgetauscht werden oder die Stapel aus mehr als einem Absorber- und/oder Spacermaterial aufgebaut werden oder zusätzliche Lagen aus weiteren Materialien aufweisen. Die Absorber- und Spacermaterialien können über alle Stapel konstante oder auch variierende Dicken aufweisen, um die Reflektivität zu optimieren. Ferner können auch zusätzliche Lagen beispielsweise als Diffusionsbarrieren zwischen Spacer- und Absorberlagen **55**, **54** vorgesehen werden.

[0028] Das Viellagensystem **51** ist auf einem Substrat **52** aufgebracht und bildet eine reflektive Fläche **60**. Als Substratmaterialien werden bevorzugt Materialien mit geringem Wärmeausdehnungskoeffizienten gewählt. Auf dem Viellagensystem **51** kann eine

Schutzschicht **56** vorgesehen sein, die das reflektive optische Element **50** u.a. vor Kontamination schützt.

[0029] In **Fig. 3** ist als Beispiel die Reflektivität für drei verschiedene reflektive optische Elemente mit unterschiedlichen Viellagensystemen über die Wellenlänge für einen Einfallswinkel von 10° zur Oberflächennormalen dargestellt. Alle drei Viellagensysteme basieren auf Molybdän als Absorbermaterial und Silizium als Spacermaterial. Bei dem Standardviellagensystem handelt es sich um ein rein periodisches Viellagensystem mit 40 Molybdän-Silizium-Stapeln bzw. -Perioden. Bei diesem Viellagensystem sind sowohl die Stapeldicke D als auch das Lagendickenverhältnis Γ innerhalb eines Stapels über das gesamte Viellagensystem im vertikalen Schichtaufbau konstant. Dieser Standardspiegel weist zwar bei einer Wellenlänge von 13,7 nm und einem Einfallswinkel von 10° zur Flächennormalen eine sehr hohe maximale Reflektivität von ca. 65% auf. Allerdings ist diese beschränkt auf einen relativ engen Wellenlängenbereich.

[0030] Als zweites Beispiel ist die Reflektivitätskurve für ein reflektives optisches Element mit herkömmlichen Breitbandviellagensystem dargestellt, das aus zwei Abschnitten unterschiedlicher Periodizität aufgebaut ist. Der konkrete Aufbau des Viellagensystems ist in **Fig. 4** dargestellt: Der erste Abschnitt, der weiter vom Substrat entfernt angeordnet ist, umfasst 12 Perioden einer Gesamtdicke von etwa 6,4 nm und einem Γ von ungefähr 0,45. Dies entspricht den Werten, die man auch bei Standardviellagensystem findet. Darunter ist auf dem Substrat der zweite Abschnitt angeordnet, der seinerseits 10 Perioden umfasst mit einer Periodendicke von etwa 7,0 nm und einem Γ von ungefähr 0,5. Diese zweiteilige Struktur des Viellagensystems führt zu einer Reflektivitätskurve (siehe **Fig. 3**), die verglichen zum Standardviellagensystem eine geringere maximale Reflektivität von unter 55% aufweist. Dafür liegt aber die Halbwertsbreite (FWHM – full width half maximum) der Kurve nicht bei nur 0,6 nm wie beim Standardviellagensystem, sondern bei etwa 0,9 nm.

[0031] In **Fig. 6** ist das Diffraktogramm dieses reflektiven optischen Elementes mit dem zweiteiligen periodischen Viellagensystem für die Wellenlänge der Kupfer-K α -Linie von 0,154 nm dargestellt. Zum Vergleich ist in **Fig. 8** auch das entsprechende Diffraktogramm des reflektiven optischen Elementes mit rein periodischem Viellagensystems dargestellt. Über einen Einfallswinkelbereich von 0° bis 6° zur Oberfläche finden sich auch bei dem reflektiven optischen Element mit zweiteiligem periodischen Viellagensystem eine Vielzahl von scharfen Peaks, von denen sechs Stück, die durch vertikale Linien gekennzeichnet wurden, für die Kontrolle und Optimierung des lateralen Lagendickenverlaufes der Lagen des Viella-

gensystems bei seiner Herstellung ausgewählt wurden.

[0032] Um eine Reflektivitätskurve zu erhalten, die noch weniger von der Wellenlänge abhängt bzw. vom Einfallswinkel, kann auf die hier vorgeschlagenen Viellagensysteme zurückgegriffen werden, die an sich aperiodisch bzw. stochastisch sind, bei dem aber mindestens ein Abschnitt vorgesehen ist, der weniger stark von der Periodizität abweicht.

[0033] Im hier konkret dargestellten Beispiel handelt es sich um ein Viellagensystem aus zwei verschiedenen Abschnitten, dessen Aufbau in der **Fig. 5** dargestellt ist. Auf einem Substrat ist zunächst ein völlig stochastischer Abschnitt des Viellagensystems aufgebracht, der fünfundzwanzig Stapel umfasst (die Stapel 18 bis 42). Darüber ist ein „periodischerer“ Abschnitt angeordnet, der siebzehn Stapel umfasst und bei dem die Gesamtdicken D_i benachbarter Stapel um weniger als 10% schwanken, während Γ , das heißt der Anteil an Molybdän am jeweiligen Stapel zum Substrat hin tendenziell zunimmt.

[0034] Wie aus der Reflektivitätskurve in **Fig. 3** ersichtlich, führt diese Struktur des Viellagensystems zu einem besonders breitbandigen Reflektivitätsprofil, bei dem die Halbwertsbreite bei etwa 1,1 nm der Wellenlänge liegt. Gleichzeitig hat das Viellagensystem dieses reflektiven optischen Elementes den Vorteil, dass es mehrere hinreichend scharfe Peaks aufweist, wenn eine diffraktometrische Messung beispielsweise bei einer Wellenlänge von 0,154 nm durchgeführt wird, wie es in **Fig. 7** dargestellt ist. Über einen Einfallswinkelbereich von 0° bis 6° finden sich eine Vielzahl von auch stärker ausgeprägten Peaks, von denen im hier dargestellten Beispiel vier, durch eine senkrechte Linie gekennzeichnete Peaks ausgewählt wurden, um mit ihrer Hilfe den lateralen Lagendickenverlauf zu kontrollieren und gegebenenfalls zu optimieren.

[0035] Es sei darauf hingewiesen, dass sowohl bei dem zweiteilig periodischem als auch bei dem aperiodischen Viellagensystem anstelle oder zusätzlich zu Molybdän als Absorbermaterial auch Ruthenium und/oder Rhodium verwendet werden können. Insbesondere bestehen dabei entweder alle Absorberlagen aus einem der drei Materialien bestehen oder jeder einzelne aus irgendeinem der drei Materialien besteht.

[0036] Die hier vorgestellte Struktur von Viellagensystem für reflektive optische Elemente für den EUV-Wellenlängenbereich erlaubt es, reflektive optische Elemente zur Verfügung zu stellen, die gleichzeitig eine hohe Bandbreite der Reflektivität über die Wellenlänge bzw. über den Einfallswinkel erlauben und dennoch hinreichend viele gut ausgeprägte Peaks in Diffraktogrammen zeigen, dass sich eine Kontrolle und

nötigenfalls Optimierung des lateralen Lagendickenverlaufes mithilfe der Röntgen-Diffraktometrie durchführen lässt.

Bezugszeichenliste

10	EUV-Lithographievorrichtung
12	EUV-Strahlungsquelle
13	Kollektorspiegel
14	Beleuchtungssystem
15	erster Spiegel
16	zweiter Spiegel
17	Maske
18	dritter Spiegel
19	vierter Spiegel
20	Projektionssystem
21	Wafer
50	reflektives optisches Element
51	Viellagensystem
52	Substrat
53	Stapel
54	Absorber
55	Spacer
56	Schutzlage

Patentansprüche

1. Reflektives optisches Element für den extrem ultravioletten Wellenlängenbereich mit einem Viellagensystem auf einem Substrat, wobei das Viellagensystem Lagen aus mindestens zwei verschiedenen Materialien aufweist, die sich durch einen unterschiedlichen Realteil des Brechungsindex bei einer Wellenlänge im EUV-Wellenlängenbereich unterscheiden, wobei Lagen mit höheren und niedrigerem Realteil des Brechungsindex abwechselnd angeordnet sind und eine Lage eines bestimmten Materials zusammen mit den zwischen ihr und der oder den in zunehmender Entfernung vom Substrat nächstgelegenen Lage gleichen Materials angeordneten Lagen einen Stapel bildet, wobei das Viellagensystem N Stapel aufweist und jeder Stapel S_i mit $i = 1$ bis N eine Gesamtdicke D_i und ein Lagendickenverhältnis Γ_i der Lagen des Stapels i aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Werte der D_i und Γ_i stochastisch verteilt sind und das Viellagensystem mindestens zwei Abschnitte aufweist, wobei in einem Abschnitt die Wahrscheinlichkeit, dass entweder die Dicken D_i , D_{i+1} oder die Lagendickenverhältnisse Γ_i , Γ_{i+1} zweier aufeinanderfolgender Stapel S_i , S_{i+1} um weniger als 10% voneinander abweichen, größer ist als in dem oder den anderen Abschnitten.

2. Reflektives optisches Element nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Abschnitt mit größerer Wahrscheinlichkeit vom Substrat weiter entfernt angeordnet ist, als der oder die Abschnitte mit kleinerer Wahrscheinlichkeit.

3. Reflektives optisches Element nach Anspruch 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass es genau zwei Abschnitte mit unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten aufweist.

4. Reflektives optisches Element nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass in dem Abschnitt mit höherer Wahrscheinlichkeit die Dicken D_i und die Lagendickenverhältnisse Γ_i derart gewählt sind, dass für alle Stapel dieses Abschnitts $|(D_i - D_{i+1})/D_i| \leq 0,1$ ist und Γ_i mit zunehmenden Abstand zum Substrat eher abnimmt als zunimmt.

5. Reflektives optisches Element nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Viellagensystem als Material mit kleinerem Realteil des Brechungsindex bei einer Wellenlänge im extrem ultravioletten Wellenlängenbereich Molybdän, Ruthenium und/oder Rhodium aufweist und als Material mit größerem Realteil des Brechungsindex Silizium aufweist.

6. Optisches System für eine EUV-Lithographievorrichtung mit einem reflektiven optischen Element gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5.

7. EUV-Lithographievorrichtung mit einem reflektiven optischen Element gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

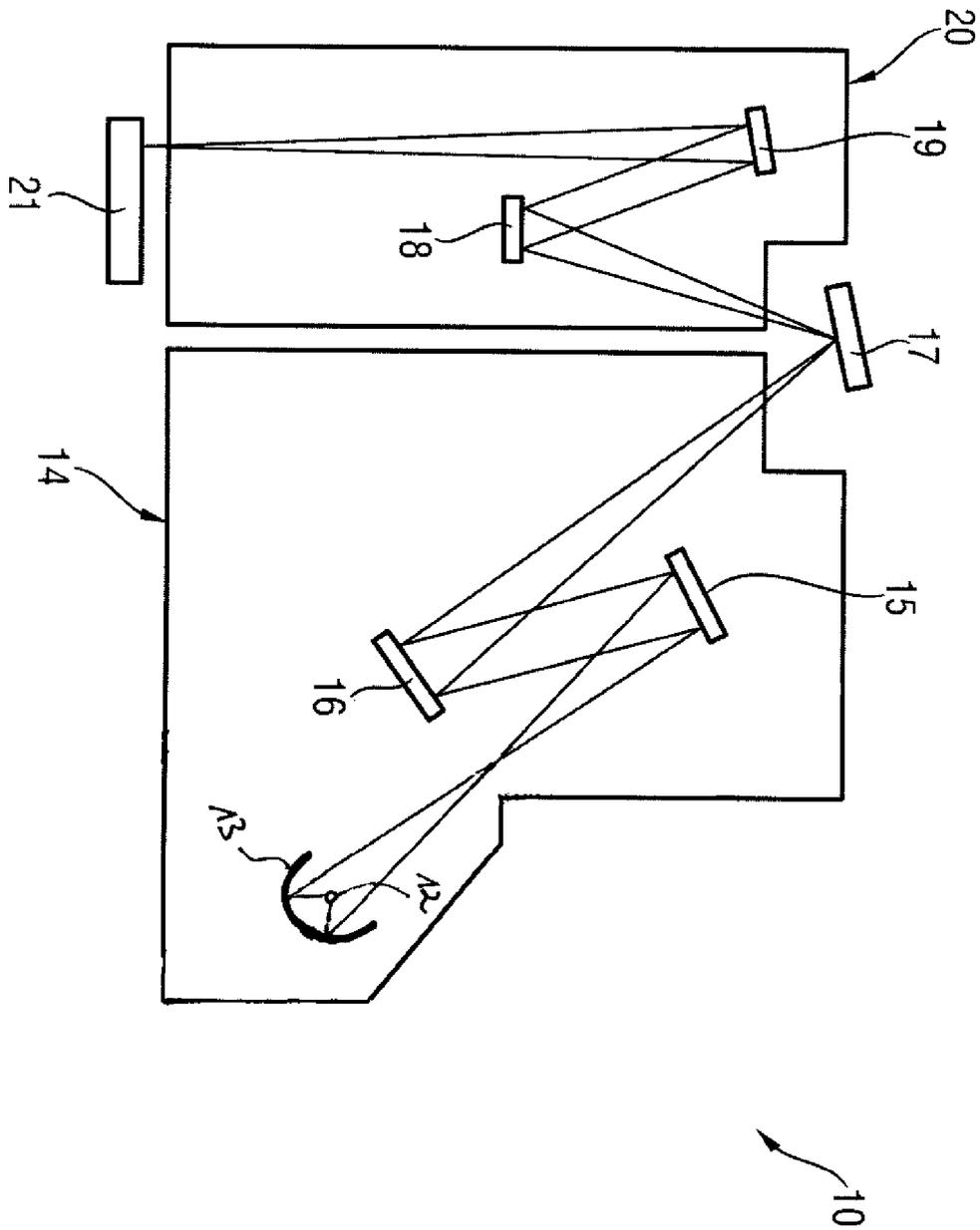


Fig. 2

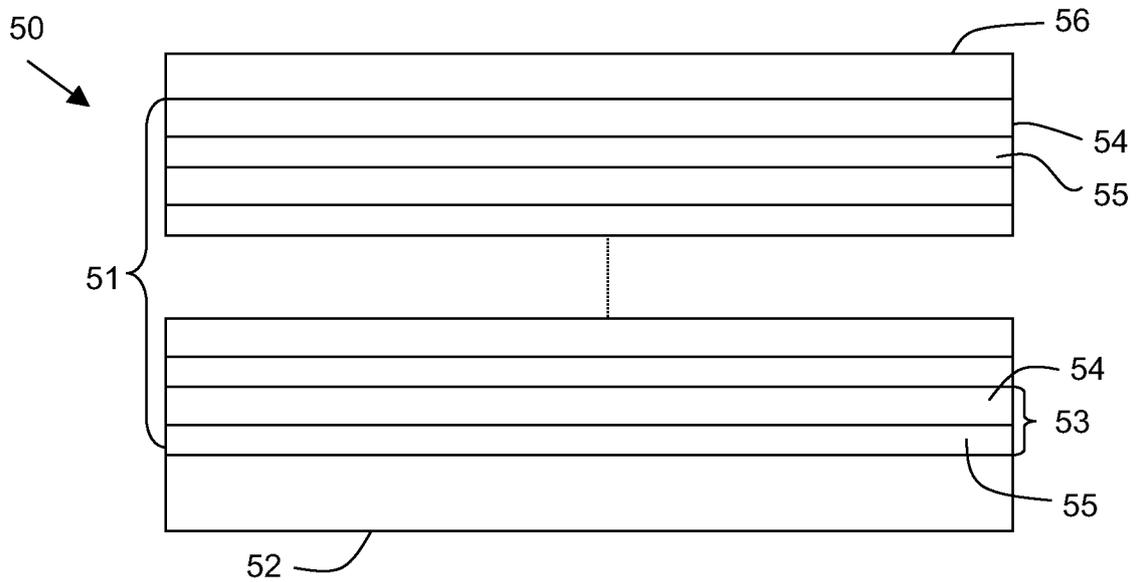


Fig. 3

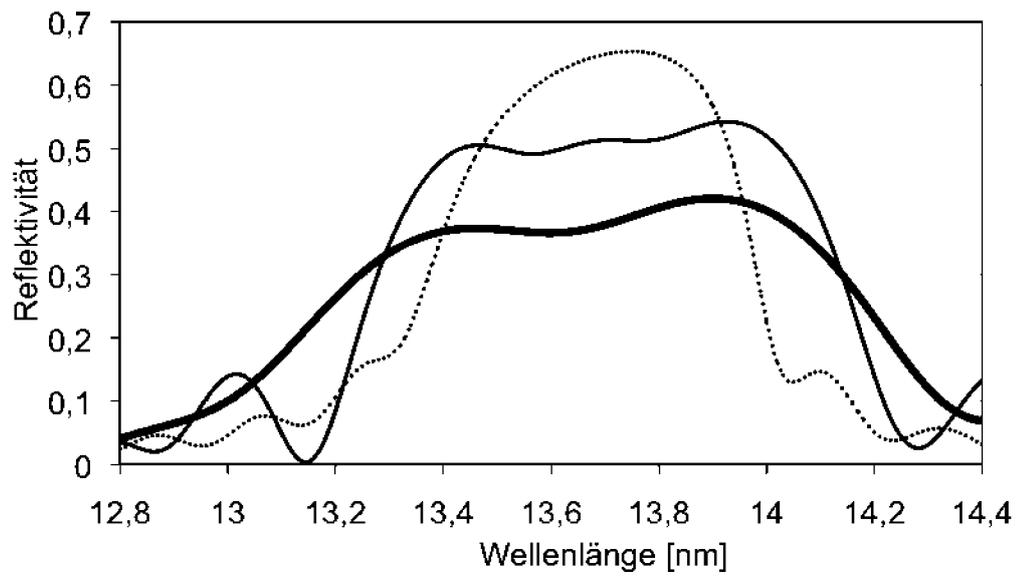


Fig. 4

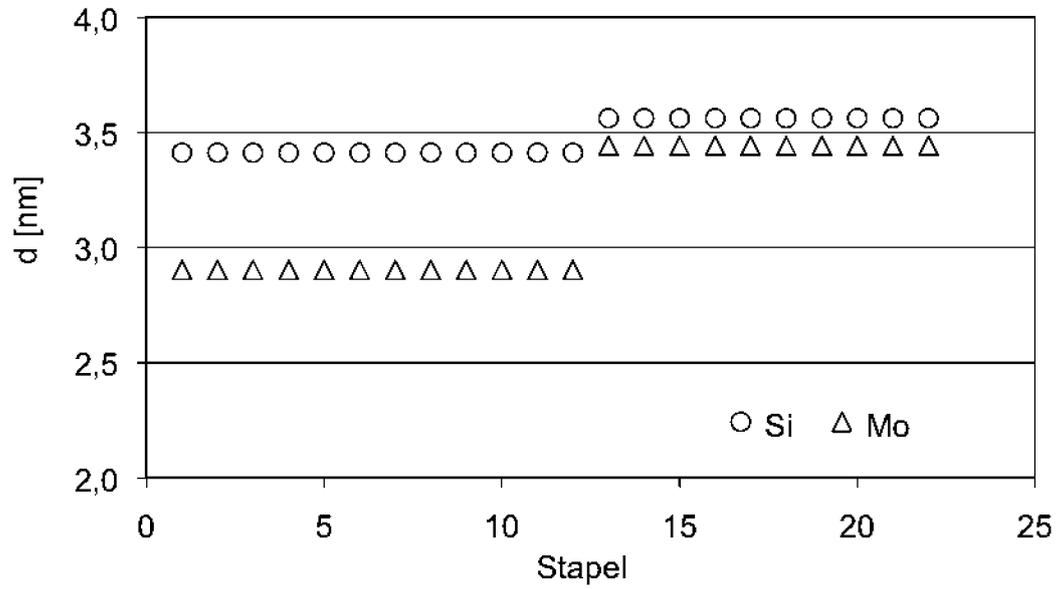


Fig. 5

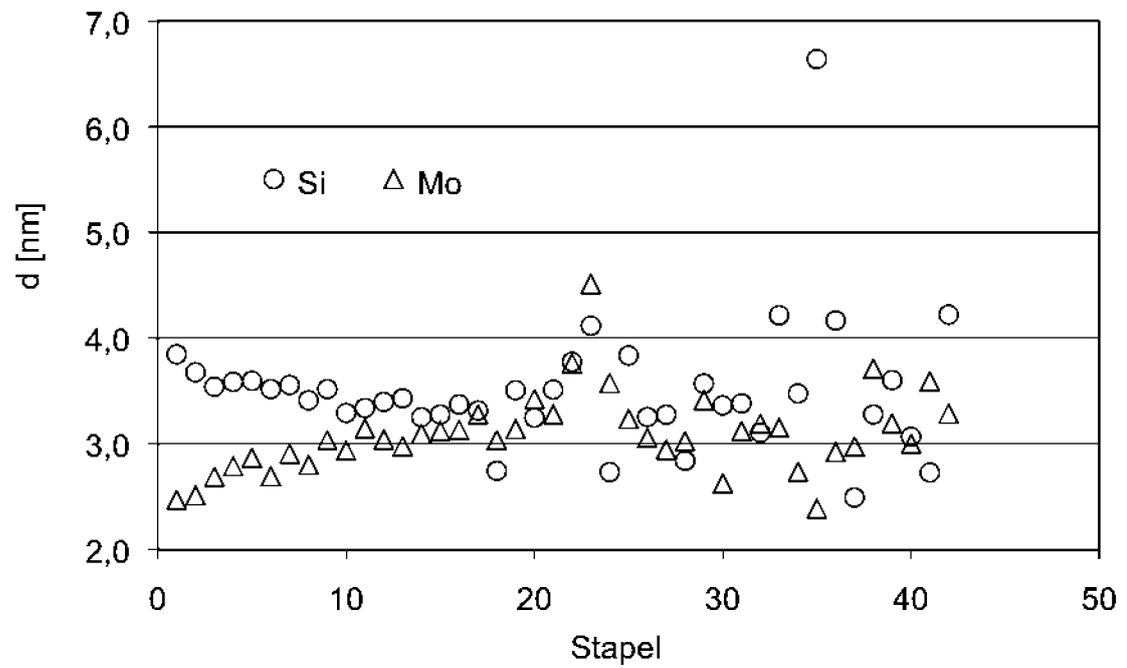


Fig. 6

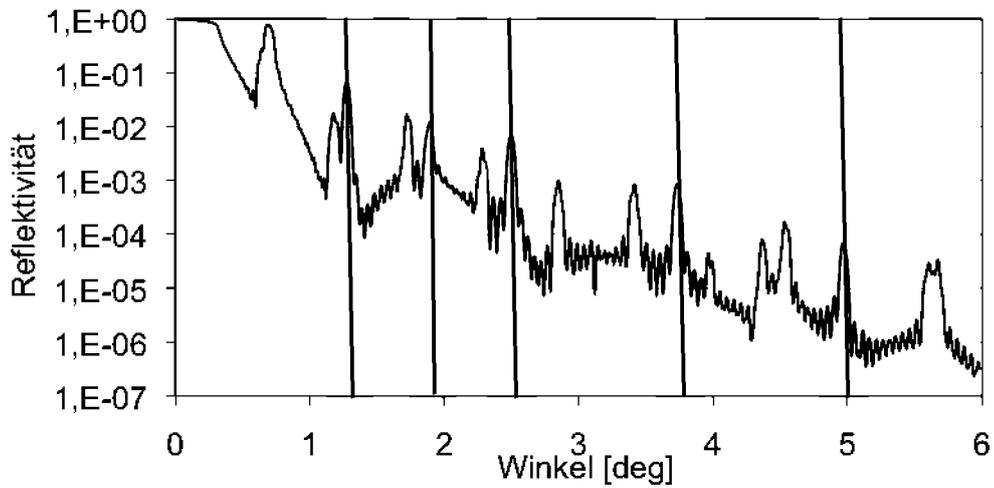


Fig. 7

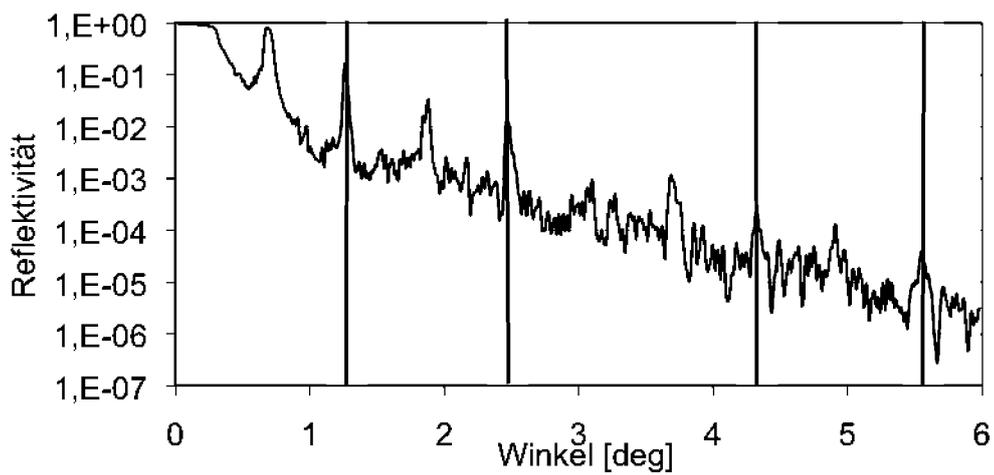


Fig. 8

