



(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2006 006 283.3

(51) Int Cl.: **G02B 1/10 (2006.01)**

(22) Anmelddetag: 10.02.2006

G02B 5/08 (2006.01)

(43) Offenlegungstag: 23.08.2007

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 21.05.2015

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

**Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80686 München, DE**

(74) Vertreter:

**Epping Hermann Fischer,
Patentanwaltsgeellschaft mbH, 80639 München,
DE**

(72) Erfinder:

**Feigl, Torsten, Dr., 07743 Jena, DE; Yulin, Sergiy,
Dr., 07745 Jena, DE; Benoit, Nicolas, 07743 Jena,
DE; Kaiser, Norbert, Dr., 07745 Jena, DE**

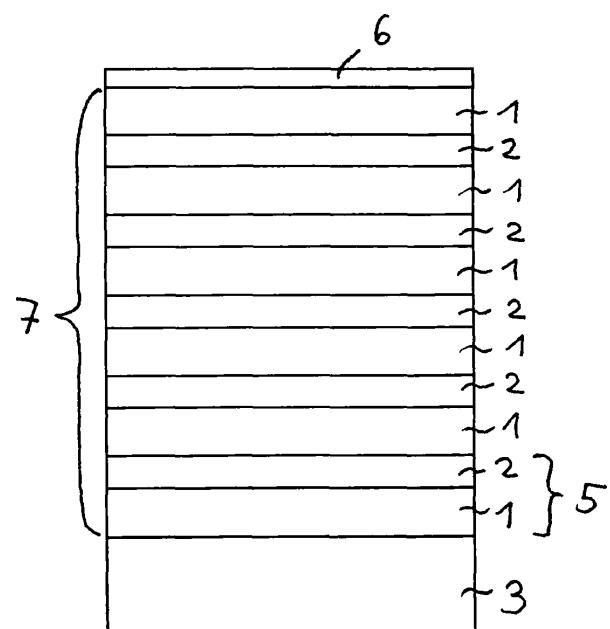
(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2004 062 289	A1
US	6 385 290	B1
US	2005 / 0 199 830	A1
US	5 190 807	A
EP	1 464 993	A1
WO	2004/ 007 796	A1
WO	2004/ 104 707	A2

(54) Bezeichnung: **Thermisch stabiler Multilayer-Spiegel für den EUV-Spektralbereich**

(57) Hauptanspruch: Multilayer-Spiegel für EUV-Strahlung, der eine auf einem Substrat angeordnete Schichtenfolge (7) aus einer Vielzahl von Schichtpaaren (5) aus jeweils einer ersten Schicht (1) aus einem ersten Material und einer darauf aufgebrachten zweiten Schicht (2) aus einem zweiten Material enthält, wobei die ersten Schichten (1) und die zweiten Schichten (2) jeweils eine Dicke von mehr als 2 nm aufweisen, und

dass das erste Material oder das zweite Material ein Siliziumnitrid, ein Molybdänitrid oder ein Molybdänborid ist, und wobei eine Heizvorrichtung (17) vorgesehen ist, um den Multilayer-Spiegel (19) auf eine Betriebstemperatur von 300°C oder mehr zu erhitzen.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen thermisch stabilen Multilayer-Spiegel für den extremen ultravioletten Spektralbereich (EUV) und dessen Verwendung.

[0002] Reflektierende optische Bauelemente für die Nutzung im extremen ultravioletten Spektralbereich (EUV), der den Wellenlängenbereich von etwa 10 nm bis etwa 50 nm umfasst, können mit Multilayer-Spiegeln realisiert werden, die eine in der Regel periodische Schichtenfolge aus einer Vielzahl von Schichtpaaren enthalten. Ein Schichtpaar enthält im allgemeinen zwei Schichten aus verschiedenen Materialien, die in dem zur Verwendung des Bauelements vorgesehenen Wellenlängenbereich einen möglichst großen Unterschied in ihren optischen Konstanten aufweisen sollten. Zumindest eines dieser Materialien, das sogenannte Spacer-Material, sollte bei der vorgesehenen Wellenlänge eine möglichst geringe Absorption aufweisen. Die Auswahl der Materialien für die Multilayer-Spiegel ist daher vor allem von der Wellenlänge, bei der das optische Bauelement verwendet werden soll, abhängig. Im EUV-Spektralbereich gibt es daher für jeweils einen bestimmten, meist nur wenige Nanometer breiten Wellenlängenbereich eine optimale Materialpaarung, welche aufgrund des optischen Kontrastes der Schichtmaterialien eine hohe Reflexion garantiert.

[0003] Im Wellenlängenbereich von etwa 12,5 nm bis 14 nm, der insbesondere für die Entwicklung optischer Systeme für Anwendungen in der EUV-Lithographie von großer Bedeutung ist, werden bevorzugt Multilayer-Spiegel aus der Materialpaarung Molybdän und Silizium verwendet, da zwischen diesen Materialien ein besonders guter optischer Kontrast in dem genannten Wellenlängenbereich besteht. Mit Mo/Si(Molybdän-Silizium)-Multilayer-Spiegeln kann beispielsweise eine Reflexion von etwa 70% bei einer Wellenlänge von 13,5 nm erzielt werden.

[0004] Zum Betrieb optischer Systeme für die EUV-Lithographie sind als Strahlungsquellen insbesondere Laser-Plasmaquellen vorgesehen, die bei einer Wellenlänge von etwa 13,5 nm emittieren. Da die Reflexion des gesamten optischen Systems bei der EUV-Lithographie aufgrund der Vielzahl der Spiegel verhältnismäßig gering ist, müssen derartige EUV-Strahlungsquellen mit hohen Leistungen betrieben werden, um die im optischen System entstehenden Reflexionsverluste auszugleichen. In der Nähe einer derartigen Hochleistungs-EUV-Strahlungsquelle können EUV-Multilayer-Spiegel hohen Temperaturen ausgesetzt sein. Dies ist insbesondere für einen EUV-Multilayer-Spiegel der Fall, der zur Strahlformung, beispielsweise als sogenannter Kollektor-Spiegel, dicht an einer EUV-Strahlungsquelle positioniert wird.

[0005] Bei hohen Temperaturen neigen die Materialien Molybdän und Silizium aber zur Bildung von Molybdänsilizid, insbesondere MoSi_2 , und zu Interdiffusionsprozessen an den Grenzflächen, wie beispielsweise aus der DE 100 11 547 C2 bekannt ist. Daher besteht bei hohen Anwendungstemperaturen die Gefahr einer Degradation derartiger Multilayer-Spiegel, durch welche die Reflexion deutlich vermindert wird. Neben einer Verminderung der Reflexion ist mit der durch Interdiffusionsprozesse und Molybdänsilizidbildung bedingten Degradation auch eine Abnahme der Dicke der Schichtpaare, die auch als Periodendicke bezeichnet wird, verbunden. Durch diese Abnahme der Periodendicke erfolgt eine Verschiebung des Reflexionsmaximums zu einer kürzeren Wellenlänge. Die Funktion eines auf Mo/Si-Multilayer-Spiegeln basierenden optischen Systems kann durch derartige Degradationsprozesse erheblich beeinträchtigt oder sogar vollständig zerstört werden.

[0006] Zur Erhöhung der thermischen Stabilität von Mo/Si-Multilayer-Spiegeln ist aus der DE 100 11 547 C2 bekannt, an den Grenzflächen zwischen den Molybdänschichten und den Siliziumschichten jeweils eine Barriereschicht aus Mo_2C einzufügen. Ferner ist in der DE 100 11 548 C2 die Verwendung von Barriereschichten aus MoSi_2 zur Erhöhung der thermischen Stabilität beschrieben.

[0007] Weiterhin ist aus der US 6,396,900 B1 bekannt, Barriereschichten aus dem Material B_4C in Mo/Si-Multilayer-Spiegel einzufügen, um die Reflexion und/oder die thermische Stabilität zu erhöhen.

[0008] Durch den Einsatz derartiger bekannter Barriereschichten können Schichtsysteme mit einer hohen Reflexion hergestellt werden, deren thermische Stabilität gegenüber reinen Mo/Si-Schichtsystemen verbessert ist.

[0009] Bei Mo/Si-Schichtsystemen mit Barriereschichten sind die technologischen Anforderungen bei der Herstellung der Barriereschichten allerdings vergleichsweise hoch, da die Dicke der Barrièreschichten in der Regel weniger als 0,5 nm beträgt. Insbesondere ist die Abscheidung einer Schichtenfolge mit derart dünnen Barriereschichten auf gekrümmten Substraten schwierig.

[0010] Dies gilt insbesondere, wenn der Einfallswinkel der EUV-Strahlung über die Oberfläche des Multilayer-Spiegel variiert und aus diesem Grund die Schichtenfolge einen Schichtdickegradienten aufweisen muss, um an allen Orten der Spiegeloberfläche die Bragg-Reflexionsbedingung zu erfüllen.

[0011] In der Druckschrift US 2005/0199830 A1 werden Multilayer-Spiegel beschrieben, die aufgrund der Materialauswahl eine gegenüber Mo/Si Multilayer-Spiegeln verbesserte thermische Stabilität auf-

weisen. In der Druckschrift WO 2004/007796 werden Multilayer-Spiegel offenbart, die abwechselnde Schichten aus Silizium und Molybdänitrid aufweisen.

[0012] Die Druckschriften US 6,385,290 B1 und WO 2004/104707 A2 offenbaren Multilayer-Spiegel, die mit einer Heizvorrichtung versehen sind.

[0013] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Multilayer-Spiegel für den EUV-Spektralbereich anzugeben, der sich durch eine hohe Temperaturstabilität, insbesondere eine vergleichsweise hohe Langzeitstabilität auszeichnet, wobei bevorzugt der Herstellungsaufwand vergleichsweise gering sein soll. Weiterhin soll die Ablagerung von Verunreinigungen auf dem Multilayer-Spiegel verhindert werden.

[0014] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch einen Multilayer-Spiegel nach Patentanspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

[0015] Ein Multilayer-Spiegel für EUV-Strahlung gemäß der Erfindung enthält eine auf einem Substrat angeordnete Schichtenfolge aus einer Vielzahl von Schichtpaaren aus jeweils einer ersten Schicht aus einem ersten Material und einer darauf aufgebrachten zweiten Schicht aus einem zweiten Material, wobei das erste Material oder das zweite Material ein Siliziumnitrid, ein Molybdänitrid oder ein Molybdänborid ist. Sowohl die ersten als auch die zweiten Schichten des erfindungsgemäßen Multilayer-Spiegels weisen jeweils eine Dicke von mehr als 2 nm auf.

[0016] Dadurch, dass zumindest jeweils eine Schicht der Schichtpaare eine Siliziumnitridschicht, eine Molybdänitridschicht oder eine Molybdänboridschicht ist, wird die Interdiffusion an den Grenzflächen zwischen den ersten Schichten und den zweiten Schichten der Schichtpaare insbesondere bei hohen Betriebstemperaturen verhindert. Insbesondere wird so eine hohe Langzeittemperaturstabilität und Strahlungsstabilität der Multilayer-Spiegel erzielt.

[0017] Ein Multilayer-Spiegel gemäß der Erfindung kann auf eine hohe Betriebstemperatur, beispielsweise auf 300°C oder mehr, vorzugsweise sogar auf 400°C oder mehr, erhitzt werden, um die Abscheidung von Verunreinigungen auf dem Multilayer-Spiegel zu verhindern. Dazu ist eine Heizvorrichtung vorgesehen, die bevorzugt an einem Substrat des Multilayer-Spiegels angebracht ist. Dies ist insbesondere vorteilhaft bei einem Multilayer-Spiegel, der in der Nähe einer EUV-Strahlungsquelle angeordnet ist, da der Multilayer-Spiegel in diesem Fall durch ein in der EUV-Strahlungsquelle verwendetes Targetmaterial, beispielsweise Lithium, das mittels eines Laser-

strahls zur Emission von EUV-Strahlung angeregt wird, verunreinigt werden könnte, wodurch die Reflexion beeinträchtigt würde. Durch ein Heizen des Multilayer-Spiegels auf eine Betriebstemperatur von vorzugsweise etwa 400°C wird zum Beispiel der Haftkoeffizient von Lithium auf einer Oberfläche des Multilayer-Spiegels vorteilhaft derart vermindert, dass die Reflexion auch nach einer Betriebszeit von 100 h oder mehr nicht signifikant beeinträchtigt wird.

[0018] Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist das erste Material ein Siliziumnitrid und das zweite Material Molybdän. Bei diesen Multilayer-Spiegeln ist also im Vergleich zu einem herkömmlichen Mo/Si-Multilayer-Spiegel das so genannte Spacermaterial Silizium durch ein Siliziumnitrid ersetzt.

[0019] Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist das erste Material Silizium und das zweite Material ein Molybdänitrid oder ein Molybdänborid. Im Vergleich zu einem herkömmlichen Mo/Si-Multilayer-Spiegel ist also das so genannte Absorber-Material Molybdän durch ein Molybdänitrid oder ein Molybdänborid ersetzt.

[0020] Die Materialbezeichnungen Siliziumnitrid, Molybdänitrid und Molybdänborid umfassen im Rahmen der Anmeldung alle Verbindungen mit der Zusammensetzung Si_xN_y , Mo_xN_y und Mo_xB_y , unabhängig von der konkreten stöchiometrischen oder nicht-stöchiometrischen Zusammensetzung des jeweiligen Materials.

[0021] Im Gegensatz zu EUV-Multilayer-Spiegeln, bei denen Barrièreschichten mit einer Dicke von typischerweise weniger als 0,5 nm zur Verminderung der Interdiffusion an den Grenzflächen eingesetzt werden und somit jede Periode der Schichtenfolge aus insgesamt vier Schichten besteht, ist der Herstellungsaufwand bei einem Multilayer-Spiegel gemäß der Erfindung, der Schichtpaare aus nur zwei Schichten aufweist, vorteilhaft gering.

[0022] Ein weiterer Vorteil im Hinblick auf den Herstellungsaufwand im Vergleich zu Multilayer-Spiegeln mit Barrièreschichten ergibt sich daraus, dass sowohl die ersten als auch die zweiten Schichten des erfindungsgemäßen Multilayer-Spiegels vorzugsweise jeweils eine Dicke von mehr als 2 nm aufweisen.

[0023] Dies ist insbesondere dann von Vorteil, wenn der Multilayer-Spiegel zur Reflexion von Strahlung, deren Einfallswinkel über die Fläche des Multilayer-Spiegels variiert, vorgesehen ist. In diesem Fall weist die erste und/oder die zweite Schicht der Schichtpaare vorteilhaft einen Schichtdickegradienten auf, d. h. die Dicke der ersten und/oder zweiten Schichten variiert in lateraler Richtung. Die Herstellung derartiger Schichtdickegradienten ist bei einer Schichtenfolge, bei der die Einzelschichten zumindest 2 nm dick sind,

mit geringerem Aufwand verbunden als bei Schichtenfolgen mit Barrièreschichten, bei denen zumindest die Barrièreschichten Dicken im Sub-Nanometer-Bereich aufweisen.

[0024] Das Substrat ist zum Beispiel ein ebenes Substrat. Ferner ist es möglich, dass der Multilayer-Spiegel auf eine gekrümmte Oberfläche eines Substrats aufgebracht ist. Insbesondere kann die Oberfläche des Substrats eine asphärische Krümmung, beispielsweise eine parabolische oder elliptische Krümmung aufweisen. Zum Beispiel ist eine parabolisch gekrümmte Oberfläche zur Erzeugung eines weitgehend parallelen Strahls aus einer nahezu punktförmigen Strahlungsquelle geeignet, während eine elliptisch gekrümmte Oberfläche zur Fokussierung des Strahls einer Strahlungsquelle, die in einem ersten Brennpunkt der Ellipse angeordnet ist, in einen zweiten Brennpunkt der Ellipse geeignet ist.

[0025] Ein derartiger Multilayer-Spiegel wird bevorzugt zur Reflexion von EUV-Strahlung mit einer Wellenlänge zwischen 12,5 nm und 14 nm verwendet.

[0026] Der Multilayer-Spiegel kann beispielsweise eine periodische Anordnung aus ersten und zweiten Schichten aufweisen, wobei die Periodendicke, also die Summe der Dicken der ersten Schicht und der zweiten Schicht der Schichtpaare, innerhalb des Multilayer-Spiegels nicht variiert. Mit einem derartigen periodischen Multilayer-Spiegel lässt sich eine hohe Reflexion in einem engen Spektralbereich um eine vorgegebene Wellenlänge erzielen. Die Periodendicke der Schichtenfolge, also die Summe der Dicken der ersten Schicht und der zweiten Schicht der Schichtpaare, beträgt dabei vorteilhaft etwa 6,5 nm bis 7,5 nm.

[0027] Der Multilayer-Spiegel kann im Rahmen der Erfindung aber auch eine aperiodische Schichtenfolge enthalten, innerhalb derer die Dicken der ersten Schichten und/oder der zweiten Schichten variieren. Mit einem derartigen aperiodischen Multilayer-Spiegel ist es möglich, eine hohe Reflexion der Multilayer-Spiegel in einem vergleichsweise breiten Wellenlängen- beziehungsweise Einfallsinkelbereich zu erzielen, wobei die maximale Reflexion bei einer vorgegebenen Wellenlänge allerdings geringer ist als bei einem periodischen Multilayer-Spiegel.

[0028] Bevorzugt ist bei der Erfindung eine Deckschicht auf den Multilayer-Spiegel aufgebracht, die sich in ihren Material und/oder ihrer Dicke von den Schichten der Schichtpaare unterscheidet, um den Multilayer-Spiegel insbesondere vor Oxidation und Kontamination zu schützen. Anstatt einer einzelnen Deckschicht können auch zwei oder mehr Deckschichten aufgebracht sein. Besonders geeignete Materialien für die Deckschicht sind Oxide, Nitride,

Carbide oder Boride, ferner auch Ruthenium, Rhodium, Scandium und Zirkonium.

[0029] Besonders geeignet ist ein Multilayer-Spiegel gemäß der Erfindung für die Verwendung bei Temperaturen von mehr als 300°C, insbesondere im Temperaturbereich von 300°C bis 500°C. Die Bereichsangabe schließt, wie alle weiteren Bereichsangaben im Rahmen dieser Anmeldung, die angegebenen Grenzen mit ein.

[0030] Ein erfindungsgemäßer Multilayer-Spiegel hat insbesondere den Vorteil einer hohen Langzeitstabilität bei Temperaturen von mehr als 300°C, insbesondere im Temperaturbereich von 300°C bis 500°C. Beispielsweise weist ein erfindungsgemäßer Multilayer-Spiegel auch nach einer Betriebszeit von 100 h bei einer Temperatur von etwa 500°C noch keine signifikante Verminderung der Reflexion und/oder der Periodendicke auf.

[0031] Aufgrund seiner hohen thermischen Beständigkeit kann ein erfindungsgemäßer Multilayer-Spiegel insbesondere in der Nähe einer EUV-Strahlungsquelle, beispielsweise einer Laser-Plasmaquelle, verwendet werden.

[0032] Die Erfindung wird im Folgenden anhand von Ausführungsbeispielen in Zusammenhang mit den **Fig. 1** bis **Fig. 3** näher erläutert.

[0033] Es zeigen:

[0034] **Fig. 1** eine schematische Darstellung eines Querschnitts durch ein Ausführungsbeispiel eines Multilayer-Spiegels gemäß der Erfindung,

[0035] **Fig. 2** eine grafische Darstellung der Reflexion R in Abhängigkeit von der Wellenlänge λ von fünf Ausführungsbeispielen eines Multilayer-Spiegels gemäß der Erfindung im Vergleich zu einem herkömmlichen Mo/Si-Multilayer-Spiegel und

[0036] **Fig. 3** eine schematische grafische Darstellung einer Anordnung, bei der ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Multilayer-Spiegels als Kollektor-Spiegel einer EUV-Strahlungsquelle verwendet wird.

[0037] Bei dem in **Fig. 1** dargestellten Multilayer-Spiegel gemäß der Erfindung ist eine Schichtenfolge 7, die eine Vielzahl von Schichtpaaren 5 enthält, auf ein Substrat 3 aufgebracht. Zur Vereinfachung der Darstellung sind nur vier Schichtpaare 5 dargestellt. Eine bevorzugte Anzahl der Schichtpaare 5 beträgt 30 bis 100.

[0038] Die Schichtpaare 5 bestehen jeweils aus einer ersten Schicht 1 aus einem ersten Material und einer zweiten Schicht 2 aus einem zweiten Material.

Dabei ist zumindest eines der Materialien ein Siliziumnitrid, ein Molybdänborid oder ein Molybdännitrid.

[0039] Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist das erste Material ein Siliziumnitrid, zum Beispiel Si_3N_4 .

[0040] Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist das erste Material Silizium und das zweite Material ein Molybdännitrid, zum Beispiel MoN, oder ein Molybdänborid, beispielsweise Mo_2B .

[0041] Das Substrat **3** ist beispielsweise ein Halbleitersubstrat, insbesondere aus Silizium oder SiC, oder ein Substrat aus einem Glas oder einer Glaskeramik, insbesondere einer Glaskeramik mit einem geringen thermischen Ausdehnungskoeffizienten. Vorteilhaft weist das Substrat **3** eine Oberflächenrauheit von weniger als 0,2 nm auf. Unter der Oberflächenrauheit wird dabei die beispielsweise aus Kurvenanpassungen an mit Cu K α -Strahlung gemessene Röntgenreflexionskurven bestimmbare rms-Rauheit der Oberfläche verstanden.

[0042] Der Multilayer-Spiegel weist bevorzugt mindestens eine auf die Schichtenfolge **7** aufgebrachte Deckschicht **6** auf. Durch die Auswahl eines gegen Oxidation verhältnismäßig unempfindlichen Materials für die Deckschicht **6** kann die thermische Stabilität des Multilayer-Spiegels **1** weiter erhöht werden.

[0043] **Fig. 2** zeigt eine grafische Darstellung der berechneten Reflexion R bei senkrechtem Einfall in Abhängigkeit von der Wellenlänge λ für einen herkömmlichen Mo/Si-Multilayer-Spiegel (Kurve **8**) im Vergleich zu drei Ausführungsbeispielen eines Multilayer-Spiegels gemäß der Erfindung (Kurven **9, 10, 13**) und zwei Vergleichsbeispielen (Kurven **11, 12**). Es handelt sich bei diesen Ausführungsbeispielen und Vergleichsbeispielen um einen $\text{Mo}_2\text{B}/\text{Si}$ -Multilayer-Spiegel (Kurve **9**), einen MGN/Si-Multilayer-Spiegel (Kurve **10**), einen Mo/Si B_4 -Multilayer-Spiegel (Kurve **11**), einen Mo/Si B_6 -Multilayer-Spiegel (Kurve **12**) und einen Mo/ Si_3N_4 -Multilayer-Spiegel (Kurve **13**). Bei den berechneten Reflexionskurven wurde angenommen, dass die Anzahl der Schichtpaare jeweils 100 beträgt, und dass eine 2 nm dicke Deckschicht aus SiO_2 auf die Schichtenfolge aufgebracht ist.

[0044] Die erfindungsgemäßen Multilayer-Spiegel weisen aufgrund der zur Erzielung einer verbesserten Temperaturstabilität erfolgten Materialauswahl eine geringere Reflexion als die in herkömmlichen Multilayer-Spiegeln verwendete Materialpaarung Mo/Si auf. Wie die Simulationsrechnungen zeigen, kann bei der für Anwendungen in der EUV-Lithographie häufig verwendeten Wellenlänge von etwa 13,5 nm mit der Materialpaarung Mo/ Si_3N_4 (Kurve **13**) eine Reflexion von mehr als 40% erzielt werden. Mit einem Multilayer-Spiegel, der Schichtpaare aus Molybdän und

SiB_4 oder SiB_6 enthält, kann eine Reflexion von mehr als 55% erzielt werden (Kurven **11** und **12**). Für die Materialpaarung MoN/Si wurde eine Reflexion von mehr als 65% (Kurve **10**) und für die Materialpaarung $\text{Mo}_2\text{B}/\text{Si}$ eine Reflexion von mehr als 70% (Kurve **9**) errechnet.

[0045] In tatsächlichen Schichtsystemen kann die Reflexion aufgrund der nicht zu vermeidenden Grenzflächenrauheiten zumindest geringfügig geringer sein als die der **Fig. 2** zugrunde gelegten Schichtsysteme mit ideal glatten Grenzflächen.

[0046] **Fig. 3** zeigt schematisch ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Multilayer-Spiegels **19**, der eine auf ein gekrümmtes, vorzugsweise asphärisch gekrümmtes Substrat **14** aufgebrachte Schichtenfolge **7** aufweist. Die Schichtenfolge **7** enthält Schichtpaare aus ersten Schichten und zweiten Schichten (nicht dargestellt), wobei die ersten und/oder die zweiten Schichten vorzugsweise in lateraler Richtung einen Schichtdickegradienten aufweisen. Beispielsweise nimmt die Schichtdicke der ersten und/oder der zweiten Schichten der Schichtenfolge **7** von der Mitte des Multilayer-Spiegels zu den Randbereichen hin zu, um die Bragg-Reflexionsbedingung für die unter verschiedenen Einfallswinkeln auf den Multilayer-Spiegel **19** auftreffende EUV-Strahlung **16** einer EUV-Strahlungsquelle **15** zu erfüllen.

[0047] Der Multilayer-Spiegel **19** fungiert als Kollektor-Spiegel der EUV-Strahlungsquelle **15**. Die von der EUV-Strahlungsquelle **15** emittierte EUV-Strahlung **16** wird von dem Kollektor-Spiegel beispielsweise in einen Brennpunkt F fokussiert. Die EUV-Strahlungsquelle **15** ist zum Beispiel eine Laser-Plasma-Strahlungsquelle, in der ein Targetmaterial, beispielsweise Lithium-Tröpfchen, mittels Laserstrahlung zur Emission von EUV-Strahlung angeregt werden. Bei derartigen EUV-Strahlungsquellen besteht oftmals das Problem, dass in der Umgebung der Strahlungsquelle angeordnete optische Elemente durch das Targetmaterial verunreinigt werden. Bei dem Multilayer-Spiegel **19** ist zur Lösung dieses Problems eine Heizvorrichtung **17** an dem Substrat **14** vorgesehen, mit welcher der Multilayer-Spiegel auf eine Temperatur erhitzt wird, bei der das Targetmaterial der EUV-Strahlungsquelle **15** nur einen geringen Haftkoeffizienten aufweist und somit von der Oberfläche **18** des Multilayer-Spiegels **19** desorbiert. Vorzugsweise wird der Multilayer-Spiegel **19** mittels der Heizvorrichtung **17** auf eine Betriebstemperatur von etwa 400°C oder mehr erhitzt. Eine Temperatur von etwa 400°C ist insbesondere im Fall eines Lithium-Targets vorteilhaft.

Patentansprüche

1. Multilayer-Spiegel für EUV-Strahlung, der eine auf einem Substrat angeordnete Schichtenfolge (**7**)

aus einer Vielzahl von Schichtpaaren (5) aus jeweils einer ersten Schicht (1) aus einem ersten Material und einer darauf aufgebrachten zweiten Schicht (2) aus einem zweiten Material enthält, wobei die ersten Schichten (1) und die zweiten Schichten (2) jeweils eine Dicke von mehr als 2 nm aufweisen, und dass das erste Material oder das zweite Material ein Siliziumnitrid, ein Molybdännitrid oder ein Molybdänborid ist, und wobei eine Heizvorrichtung (17) vorgesehen ist, um den Multilayer-Spiegel (19) auf eine Betriebstemperatur von 300°C oder mehr zu erhitzen.

2. Multilayer-Spiegel nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste Material ein Siliziumnitrid und das zweite Material Molybdän ist.

3. Multilayer-Spiegel nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste Material Silizium und das zweite Material ein Molybdänitrid ist.

4. Multilayer-Spiegel nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste Material Silizium und das zweite Material ein Molybdänborid ist.

5. Multilayer-Spiegel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Substrat (14) eine gekrümmte Oberfläche aufweist.

6. Multilayer-Spiegel nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Oberfläche des Substrats (14) asphärisch gekrümmmt ist.

7. Multilayer-Spiegel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die ersten Schichten (1) und/oder die zweiten Schichten (2) eine in lateraler Richtung variierende Dicke aufweisen.

8. Multilayer-Spiegel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf die Schichtenfolge (7) eine Deckschicht (6) aufgebracht ist.

9. Multilayer-Spiegel nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Deckschicht (6) ein Oxid, Silizid, Nitrid, Carbid oder Borid enthält.

10. Multilayer-Spiegel nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Deckschicht zumindest eines der Materialien Ruthenium, Rhodium, Scandium oder Zirkonium enthält.

11. Multilayer-Spiegel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Heizvorrichtung (17) dazu vorgesehen ist, den Multilayer-Spiegel (19) auf eine Betriebstemperatur von 400°C oder mehr zu erhitzen.

12. Multilayer-Spiegel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Multilayer-Spiegel (19) auf ein Substrat (14) aufgebracht ist, an dem die Heizvorrichtung (17) angebracht ist.

13. Multilayer-Spiegel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Multilayer-Spiegel (19) ein Kollektorspiegel einer EUV-Strahlungsquelle (15) ist.

14. Verwendung eines Multilayer-Spiegels nach einem der Ansprüche 1 bis 13 zur Reflexion von EUV-Strahlung bei einer Betriebstemperatur von 300°C bis 500°C.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

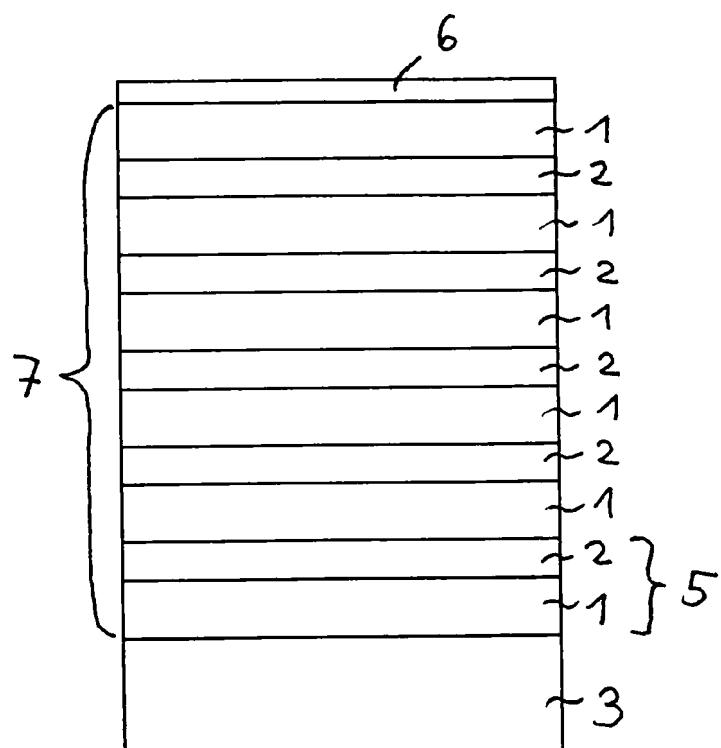


Fig. 1

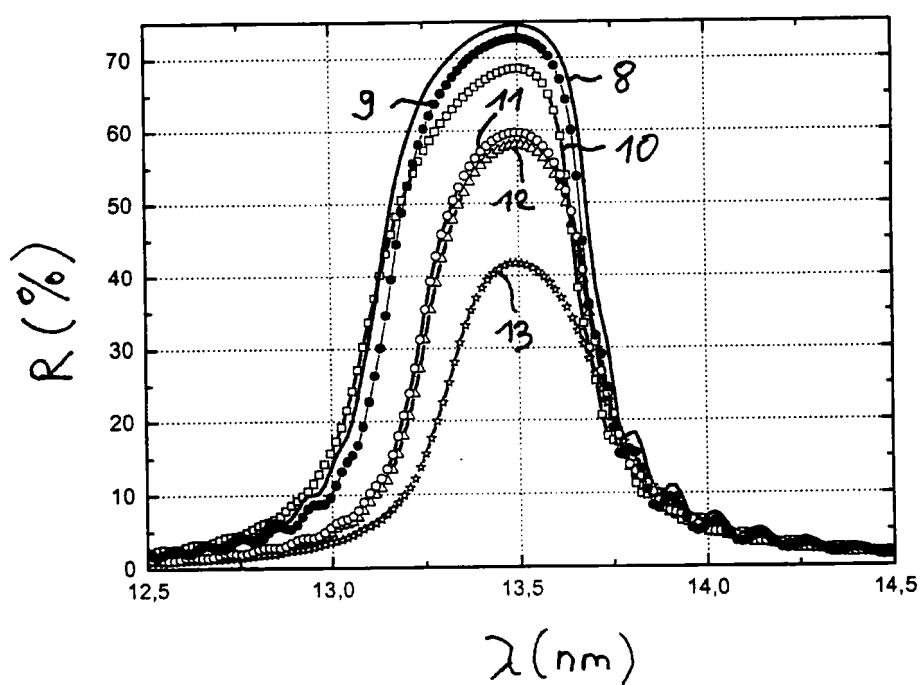


Fig. 2

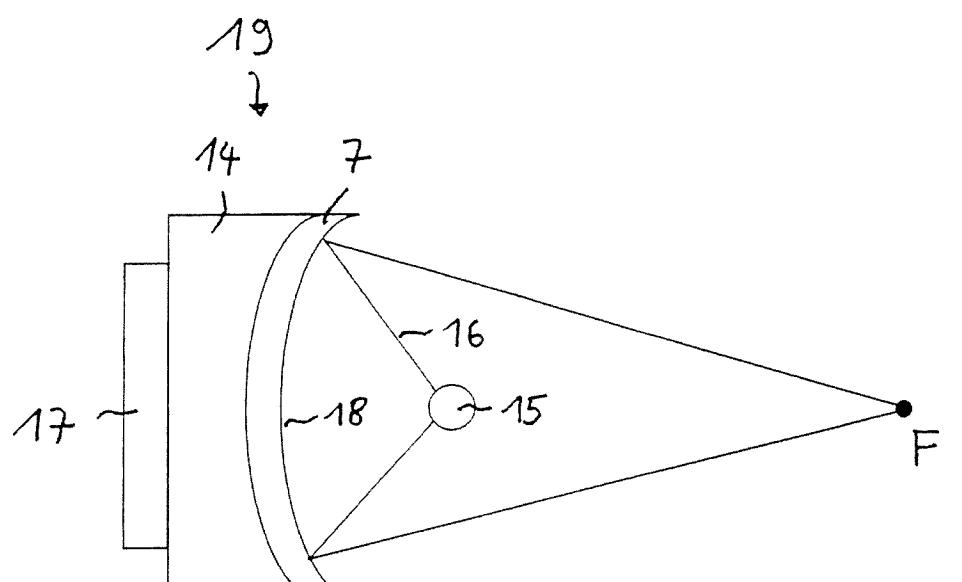


Fig. 3