(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2021 200 748 A1** 2022.07.28

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2021 200 748.1**
(22) Anmeldetag: **28.01.2021**
(43) Offenlegungstag: **28.07.2022**

(51) Int Cl.: ***G02B 5/08*** (2006.01)
G02B 1/10 (2015.01)
G03F 7/20 (2006.01)
G03F 1/72 (2012.01)
G03F 1/74 (2012.01)

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

(72) Erfinder:
Müller, Robert, 73457 Essingen, DE; Strobel, Sebastian, 73430 Aalen, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

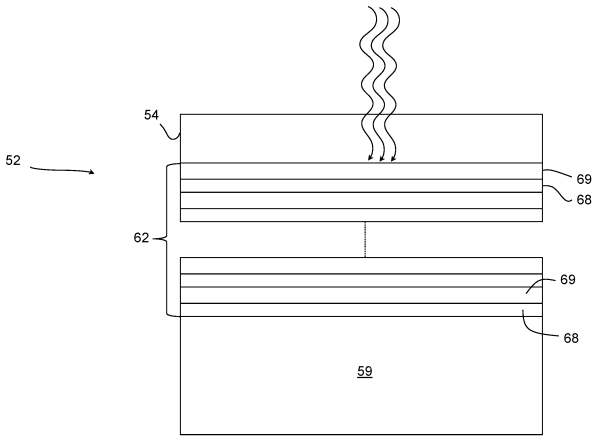
DE	**10 2012 200 454**	**A1**
DE	**10 2015 103 494**	**A1**
US	**2003 / 0 214 735**	**A1**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Reflektives optisches Element und Verfahren zur Reparatur und/oder Aufbereitung eines reflektiven optischen Elements**

(57) Zusammenfassung: Zum Ermöglichen der Wiederverwertung von Substraten wird ein reflektives optisches Element (52) für den extrem-ultravioletten Wellenlängenbereich vorgeschlagen, aufweisend ein Substrat (59) und eine reflektierende Beschichtung (54), bei dem zwischen dem Substrat und der reflektierenden Beschichtung eine reaktive Ablöseschicht (62) angeordnet ist. Zu dessen Reparatur und/oder Aufbereitung wird vorgeschlagen, folgende Schritte auszuführen:
- Bereitstellen eines reflektiven optischen Elements für den extrem-ultravioletten Wellenlängenbereich, aufweisend ein Substrat und eine reflektierende Beschichtung, bei dem zwischen dem Substrat und der reflektierenden Beschichtung einer reaktive Ablöseschicht angeordnet ist;
- Einbringen eines Energieimpulses in die reaktive Ablöseschicht, um eine Reaktion in der reaktiven Ablöseschicht in Gang zu setzten, so dass sich in der reaktiven Ablöseschicht eine Volumenänderung ergibt;
- Ablösen der reflektierenden Beschichtung und der reaktiven Ablöseschicht.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein reflektives optisches Element für den extrem-ultravioletten Wellenlängenbereich, aufweisend ein Substrat und eine reflektierende Beschichtung. Außerdem bezieht sich die vorliegende Erfindung auf ein Verfahren zur Reparatur und/oder Aufbereitung von reflektiven optischen Elementen für den EUV-Wellenlängenbereich.

[0002] Um bei der Produktion von Halbleiterbauelementen mit lithographischen Methoden immer feinere Strukturen erzeugen zu können, wird mit immer kurzwelligerem Licht gearbeitet. Arbeitet man im extremen ultravioletten (EUV) Wellenlängenbereich, etwa insbesondere bei Wellenlängen zwischen ca. 5 nm und 30 nm, lässt sich nicht mehr mit linsenartigen Elementen in Transmission arbeiten, sondern es werden Beleuchtungs- und Projektionsobjektive oder auch Masken aus reflektiven optischen Elementen eingesetzt, die auf einem Substrat eine Beschichtung mit einer reflektierenden Beschichtung aufweisen.

[0003] Oftmals ergibt sich die Notwendigkeit, die reflektierende Beschichtung von dem Substrat des reflektiven optischen Elementes wieder zu entfernen und das Substrat aus Kostengründen möglichst noch einmal beschichten zu können. Dies kann beispielsweise vorkommen, wenn eine Qualitätsprüfung ergeben hat, dass die vorliegende Beschichtung nicht den Spezifikationen genügt oder durch Schichtalterungen beim Endkunden eine erneute Beschichtung notwendig wird.

[0004] Wünschenswert ist eine möglichst rückstandsfreie Entfernung der ursprünglichen Beschichtung. Dazu gibt es verschiedene Vorgehensweisen: Man kann die ursprüngliche Beschichtung durch Polieren entfernen. Dies bringt allerdings einen sehr hohen Zeit- und Kostenaufwand mit sich. Das Rückführen des Substrats auf seinen unbeschichteten Zustand kann Wochen bis Monate dauern. Außerdem sind insbesondere asphärische Substrate bzw. Substrate, deren Oberfläche als Freiform gestaltet sind, nicht immer derart rückpolierbar, dass sie erneut für das gleiche reflektive optische Element verwendet werden können.

[0005] Aus der DE 10 2012 200 454 A1 ist bekannt, zwischen Substrat und reflektierender Beschichtung eine Ablöseschicht vorzusehen, die eine derart geringe Haftung aufweist, dass sich die reflektierende Beschichtung bei mechanischem Entfernen mittels beispielsweise eines Klebebandes quasi rückstandsfrei entfernen lässt.

[0006] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein reflektives optisches Element für den extrem ultravioletten Wellenlängenbereich und ein Verfahren zu dessen Reparatur bzw. Aufbereitung bereit zu stellen, dass es erlaubt, die optische Beschichtung auch bei reflektiven optischen Elementen mit komplexerer Oberflächenform mit möglichst wenig Aufwand vom Substrat derart zu entfernen, dass das Substrat wieder verwendet werden kann.

[0007] Diese Aufgabe wird gelöst durch ein reflektives optisches Element für den extrem-ultravioletten Wellenlängenbereich, aufweisend ein Substrat und eine reflektierende Beschichtung, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Substrat und der reflektierenden Beschichtung eine reaktive Ablöseschicht angeordnet ist.

[0008] Die Erfinder haben erkannt, dass einerseits eine gute Haftung der reflektierenden Beschichtung während der Nutzung des reflektiven optischen Elements erreicht werden kann und andererseits ein Ablösen der reflektierenden Beschichtung zwecks Reparatur oder Aufbereitung des reflektiven optischen Elements, wenn man eine reaktive Ablöseschicht zwischen Substrat und reflektierender Beschichtung vorsieht, die nach einer erfolgten Reaktion andere physikalische Eigenschaft aufweist als davor und dadurch Einfluss auf das Ablöseverhalten der reflektierenden Beschichtung genommen werden kann.

[0009] Vorteilhafterweise weist das reflektive optische Element mindestens eine weitere reaktive Ablöseschicht und eine weitere reflektierende Beschichtung auf, wobei die mindestens zwei reaktiven Ablöseschichten und die mindestens zwei reflektierenden Beschichtungen alternierend angeordnet sind. Dies erlaubt es, die zum Vakuum offen liegende reflektierende Beschichtung mit darunter liegender reaktiver Ablöseschicht im Bedarfsfall zu entfernen und ohne neues Beschichten eine weitere reflektierende Beschichtung zur Verfügung zu haben. Es können zwei, drei, vier oder mehr reflektierenden Beschichtungen mit reaktiver Ablöseschicht vorgesehen sein.

[0010] Bevorzugt die reflektierende Beschichtung als Viellagensystem ausgebildet, das Lagen aus mindestens zwei verschiedenen Materialien mit unterschiedlichem Realteil des Brechungsindex bei einer Wellen-

länge im extrem ultravioletten Wellenlängenbereich aufweist, die alternierend angeordnet sind. Derartige reflektive optische Element sind insbesondere für den Einsatz bei quasi-normalem Einfall der EUV-Strahlung geeignet, lassen sich aber auch für breitbandigere Reflexion auslegen.

[0011] In einer bevorzugten Ausführungsform weist die reaktive Ablöseschicht mindestens zwei Substanzen auf, die nach Einbringen eines Energieimpulses miteinander derart reagieren können, dass die Ablöseschicht ein anderes Volumen aufweist, als vor dem Einbringen des Energieimpulses. Durch diese Volumenänderung werden Spannungen induziert, die ein Ablösen vom Substrat fördern, bevorzugt ein möglichst vollständiges Ablösen der reaktiven Ablöseschicht mit reflektierender Beschichtung vom Substrat verursachen. Die kann etwa als Abplatzen der reaktiven Ablöseschicht mit reflektierender Beschichtung vom Substrat geschehen.

[0012] Bevorzugt handelt es sich bei den mindestens zwei Substanzen um Substanzen, die exotherm miteinander reagieren. Dies hat den Vorteil, dass es ausreichen kann, einen Energieimpuls lediglich lokal in die reaktive Ablöseschicht als Aktivierungsenergie einzubringen und die bei der lokal stattfindenden Reaktion in der Ablöseschicht entstehende Energie wiederum als Aktivierungsenergie zum Auslösen der Reaktion in angrenzenden Regionen dienen kann, so dass sich die Reaktion im besten Fall über die gesamte Fläche der reaktiven Ablöseschicht ausbreiten kann.

[0013] Vorteilhafterweise weist die reaktive Ablöseschicht eine Mehrzahl von Lagen aus den mindestens zwei Substanzen auf, die alternierend angeordnet sind. Dadurch kann die Anzahl der Grenzflächen zwischen den mindestens zwei Substanzen erhöht werden, wodurch die Reaktion zwischen der Substanzen über die reaktive Ablöseschicht als Ganzes effizienter ablaufen kann.

[0014] Bevorzugt handelt sich bei den mindestens zwei Substanzen um zwei Metalle oder um ein Metall und einen Halbleiter. Dies erlaubt, gezielt Substanzen auszuwählen, die bei der Reaktion miteinander zu einer Schicht mit hinreichend großen Unterschieden bei physikalischen Parametern wie etwa unterschiedlichen Volumina führen, um Spannungen im reflektiven optischen Element zu induzieren, die ausreichen können, um ein Ablösen von Ablöseschicht und reflektierender Beschichtung zu erlauben.

[0015] Besonders bevorzugt ist eine der mindestens zwei Substanzen eine aus der Gruppe bestehend aus Titan, Zirkonium, Niob ist und dass die andere der mindestens zwei Substanzen eine aus der Gruppe gebildet aus Silizium, Kohlenstoff, oder ist eine der mindestens zwei Substanzen Palladium und dass die andere der mindestens zwei Substanzen Aluminium. Diese Substanzkombinationen führen bei Reaktion zu merklichen Änderungen des Volumens der reaktiven Ablöseschicht, wobei die Reaktionen außerdem exotherm ablaufen.

[0016] In einem weiteren Aspekt wird die Aufgabe gelöst durch ein Verfahren zur Reparatur und/oder Aufbereitung von reflektiven optischen Elementen für den EUV-Wellenlängenbereich, mit den Schritten:

- Bereitstellen eines reflektiven optischen Elements für den extrem-ultravioletten Wellenlängenbereich, aufweisend ein Substrat und eine reflektierende Beschichtung, bei dem zwischen dem Substrat und der reflektierenden Beschichtung einer reaktive Ablöseschicht angeordnet ist, insbesondere eines reflektiven optischen Elements wie zuvor beschrieben;

- Einbringen eines Energieimpulses in die reaktive Ablöseschicht, um eine Reaktion in der reaktiven Ablöseschicht in Gang zu setzten, so dass sich in der reaktiven Ablöseschicht eine Volumenänderung ergibt;

- Ablösen der reflektierenden Beschichtung und der reaktiven Ablöseschicht.

[0017] Es hat sich herausgestellt, dass eine Aufbereiten bzw. Reparieren von reflektiven optischen Elementen auch bei Substraten mit Freiformflächen ermöglicht wird, wenn zwischen Substrat und ggf. zu ersetzender reflektierender Beschichtung eine reaktive Ablöseschicht vorgesehen wird, die, wenn das Aufbereiten oder Reparieren durchgeführt werden soll, mit einem Energieimpuls beaufschlagt wird, der als Aktivierungsenergie für das Auslösen einer Reaktion innerhalb der reaktiven Ablöseschicht. Über eine durch die Reaktion verursachten Volumenänderung werden Spannungen zwischen Ablöseschicht und Substrat sowie Ablöseschicht und reflektierender Beschichtung induziert, die zu einem Ablösen der reflektierenden Beschichtung und der reaktiven Ablöseschicht führen. Nach dem Ablösen ist das restliche reflektive optische Element insofern aufbereitet, als dass es für eine erneute Beschichtung zur Verfügung steht.

[0018] Vorzugsweise wird der Energieimpuls als elektrischer Funke, Laserstrahl, Elektronenstrahl oder lonenstrahl oder eine Kombination davon in die reaktive Ablöseschicht eingebracht. Der Laserstrahl, Elektro-

nenstrahl und Ionenstrahl können auch gepulst sein und können genutzt werden, um durch die reflektierende Beschichtung hindurch Energie in die reaktive Ablöseschicht einzubringen. Es können auch offenliegende Flächen der reaktiven Ablöseschicht vorgesehen werden, um insbesondere mittels elektrischem Funken bzw. durch Anlegen einer Spannung an die Ablöseschicht, aber auch durch Bestrahlung einen Energieimpuls in die Ablöseschicht einzubringen.

[0019] Bevorzugt erfährt die reaktive Ablöseschicht infolge des Einbringens des Energieimpulses eine Volumenänderung von mindestens ±5%. Dadurch können starke Spannungen im reflektiven optischen Element induziert werden, die zu einem Abplatzen der reflektierenden Beschichtung und der reaktiven Ablöseschicht führen können.

[0020] In einer bevorzugten Ausführungsform wird nach dem Ablösen der reflektierenden Beschichtung und der reaktiven Ablöseschicht eine neue reflektierende Beschichtung aufgebracht, um ein repariertes reflektives optisches Element zu erhalten.

[0021] Vorteilhafterweise wird dabei eine neue reaktive Ablöseschicht aufgebracht, die zwischen dem Substrat und der neuen reflektierenden Beschichtung aufgebracht wird, damit das so erhaltene reflektive optische Element seinerseits zu gegebener Zeit erneut wie zuvor beschrieben aufbereitet bzw. repariert werden kann.

[0022] Die vorliegende Erfindung soll unter Bezugnahme auf bevorzugte Ausführungsbeispiele näher erläutert werden. Dazu zeigen

Fig. 1 eine Prinzipskizze einer ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen reflektiven optischen Elements;

Fig. 2 eine Prinzipskizze einer zweiten Ausführungsform des erfindungsgemäßen reflektiven optischen Elements;

Fig. 3a-c schematisch eine dritte Ausführungsform des erfindungsgemäßen reflektiven optischen Elements während des Einbringens von Energieimpulsen, während und nach dem Ablösen der reflektierenden Beschichtung;

Fig. 4 eine Prinzipskizze einer vierten Ausführungsform des erfindungsgemäßen reflektiven optischen Elements;

Fig. 5 eine Prinzipskizze einer fünften Ausführungsform des erfindungsgemäßen reflektiven optischen Elements; und

Fig. 6 schematisch einen beispielhaften Ablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Reparatur und/oder Aufbereitung von reflektiven optischen Elementen

[0023] In **Fig. 1** ist schematisch der Aufbau eines reflektiven optischen Elements 50 dargestellt, das auf einem Substrat 59 eine reaktive Ablöseschicht 60 und darauf eine reflektierende Beschichtung 54 aufweist, die im vorliegenden Beispiel als Viellagensystem ausgebildet ist, das Lagen aus mindestens zwei verschiedenen Materialien mit unterschiedlichem Realteil des Brechungsindex bei einer Wellenlänge im extrem ultravioletten Wellenlängenbereich aufweist, die alternierend angeordnet sind. In diesem Beispiel handelt es sich um auf ein Substrat 59 alternierend aufgebrachte Lagen eines Materials mit höherem Realteil des Brechungsindex bei der Arbeitswellenlänge, bei der beispielsweise die lithographische Belichtung durchgeführt wird, (auch Spacer 56 genannt) und eines Materials mit niedrigerem Realteil des Brechungsindex bei der Arbeitswellenlänge (auch Absorber 57 genannt), wobei ein Absorber-Spacer-Paar einen Stapel 55 bildet. Dadurch wird in gewisser Weise ein Kristall simuliert, dessen Netzebenen den Absorberlagen entsprechen, an denen Bragg-Reflexion stattfindet. Üblicherweise werden reflektive optische Elemente für eine EUV-Lithographievorrichtung oder ein optisches System derart ausgelegt, dass die jeweilige Wellenlänge maximaler Reflektivität mit der Arbeitswellenlänge des Lithographieprozesses oder sonstigen Anwendungen des optischen Systems im Wesentlichen übereinstimmt.

[0024] Die Dicken der einzelnen Lagen 56, 57 wie auch der sich wiederholenden Stapel 55 können über das gesamte Viellagensystem 54 konstant sein oder auch lateral über die Fläche oder die Gesamtdicke des Viellagensystems 54 variieren, je nach dem welches spektrale oder winkelabhängige Reflexionsprofil bzw. welche maximale Reflektivität bei der Arbeitswellenlänge erreicht werden soll. Wenn die Lagendicken über das gesamte Viellagensystem 54 im wesentlichen konstant sind, spricht man auch von einer Periode 55 anstelle von einem Stapel 55. Das Reflexionsprofil kann auch gezielt beeinflusst werden, indem die Grundstruktur

aus Absorber 57 und Spacer 56 um weitere mehr und weniger absorbierende Materialien zu 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. Ferner können auch zusätzliche Lagen als Diffusionsbarrieren zwischen Spacer- und Absorberlagen 56, 57 vorgesehen werden. Eine beispielsweise für eine Arbeitswellenlänge von 13,4 nm übliche Materialkombination ist Molybdän als Absorber- und Silizium als Spacermaterial. Dabei hat ein Periode 55 oft eine Dicke von ca. 6,7 nm, wobei die Spacerlage 56 meist dicker ist als die Absorberlage 57. Weitere übliche Materialkombinationen sind u.a. Silizium-Ruthenium oder Molybdän-Beryllium. Außerdem kann auf dem Viellagensystem 54 eine Schutzschicht 53 vorgesehen sein, die auch mehrlagig ausgelegt sein kann.

[0025] Typische Substratmaterialien für reflektive optische Elemente für die EUV-Lithographie sind Silizium, Siliziumkarbid, siliziuminfiltriertes Siliziumkarbid, Quarzglas, titandotiertes Quarzglas, Glas und Glaskeramik. Insbesondere bei derartigen Substratmaterialien kann zusätzlich eine Schicht zwischen reflektierender Beschichtung 54 und Substrat 59 vorgesehen sein, die aus einem Material ist, das eine hohe Absorption für Strahlung im EUV-Wellenlängenbereich aufweist, die im Betrieb des reflektiven optischen Elements 50 eingesetzt wird, um das Substrat 59 vor Strahlenschäden, beispielsweise eine ungewollte Kompaktierung zu schützen. Ferner kann das Substrat auch aus Kupfer, Aluminium, einer Kupferlegierung, einer Aluminiumlegierung oder einer Kupfer-Aluminium-Legierung sein.

[0026] Die reaktive Ablöseschicht kann mindestens zwei Lagen jeweils unterschiedlicher Substanzen aufweisen. Bevorzugt kann sie eine Mehrzahl von Lagen aus mindestens zwei Substanzen aufweisen, die alternierend angeordnet sind. Insbesondere weist die reaktive Ablöseschicht mindestens zwei Substanzen auf, die nach Einbringen eines Energieimpulses miteinander derart reagieren können, dass die Ablöseschicht ein anderes Volumen aufweist, als vor dem Einbringen des Energieimpulses.

[0027] Im in **Fig. 1** dargestellten Beispiel weist die reaktive Ablöseschicht 60 eine Mehrzahl von Lagen 61, 66 aus - ohne Beschränkung der Allgemeinheit - zwei unterschiedlichen Substanzen auf, die alternierend angeordnet sind. Bringt man in die reaktive Ablöseschicht 60 einen gewissen Energiebetrag ein, der ausreicht, um als Aktivierungsenergie zu dienen, können diese beiden Substanzen miteinander reagieren, um insbesondere zu einer Volumenänderung zu führen. Bevorzugt beträgt die Volumenänderung mindestens ±5%, um mit hoher Wahrscheinlichkeit Spannungen zwischen reaktiver Ablöseschicht 60 und einerseits Substrat 59 bzw. andererseits reflektierender Beschichtung 54 zu induzieren, die zu einem Abblättern der reaktiven Ablöseschicht 60 und der reflektierenden Beschichtung 54 führen können. Als besonders geeignet hat es sich erwiesen, wenn es sich bei den mindestens zwei Substanzen um zwei Metalle oder um ein Metall und einen Halbleiter handelt.

[0028] Je mehr Lagen 61, 66 vorgesehen sind, desto mehr Grenzflächen sind vorhanden, an denen eine Reaktion stattfinden kann. Vorteilhafterweise weist mindestens eine der gewählten Substanzen eine hohe Absorption bzw. hohen Wirkungsquerschnitt für die zum Einbringen der Aktivierungsenergie in Form eines Energieimpulses verwendeten Bestrahlung auf, um einerseits die Bestrahlungsenergie in hinreichendem Ausmaß in Aktivierungsenergie umwandeln zu können und um andererseits das Substrat 59 vor Schädigung durch diese Bestrahlung schützen zu können und/oder eine hohe Absorption für die im Betrieb des reflektiven optischen Elements 50 verwendeten EUV-Strahlung auf, um das Substrat 59 vor entsprechenden Strahlungsschäden zu schützen. Zum Schutz des Substrats 59 vor der Strukturierungsbestrahlung und ggf. zusätzlich gegen die EUV-Strahlung im Betrieb kann auch eine zusätzliche Schicht zwischen reaktiver Ablöseschicht 60 und Substrat 59 vorgesehen sein.

[0029] In **Fig. 2** ist ein zweites Ausführungsbeispiel eines reflektiven optischen Elements 52 für den EUV-Wellenlängenbereich zu Beginn einer lokalen Bestrahlung durch die reflektierende Beschichtung 54 hindurch. Bei dem reflektiven optischen Element 52 ist analog zu dem in **Fig. 1** dargestellten Beispiel zwischen dem Substrat 59 und der reflektiven Beschichtung 54 eine reaktive Ablöseschicht 62 angeordnet. Als reaktive Ablöseschicht 62 ist im hier dargestellten Beispiel analog zum Beispiel aus **Fig. 1** eine Mehrzahl von Lagen 68, 69 aus zwei unterschiedlichen Substanzen auf, die alternierend angeordnet sind. Im Unterschied zum in **Fig. 1** illustrierten Beispiel sind die zwei unterschiedlichen Substanzen dahingehend ausgewählt, dass sie unter Einfluss von Aktivierungsenergie etwa durch Bestrahlung mit elektromagnetischer Strahlung, Elektronen oder Ionen exotherm miteinander reagieren. Dadurch wird eine reaktive Ablöseschicht 62 in einem zunächst metastabilen Zustand gebildet.

[0030] Um die für das Auslösen der Reaktion notwendige Aktivierungsenergie in die reaktive Ablöseschicht 62 einzubringen, wird sie im hier dargestellten Beispiel mit Elektronen bestrahlt (durch die gewellten Pfeile symbolisiert) und zwar durch die reflektierende Beschichtung 54 hindurch. Dies ist ebenso mittels Bestrahlung mit Ionen oder elektromagnetischer Strahlung möglich. Die Bestrahlung kann als einzelner Puls oder eine Abfolge von Pulsen durchgeführt werden, die auch lokal an unterschiedlichen Stellen über die Fläche der reflektierenden Beschichtung 54 bzw. der reaktiven Ablöseschicht 62 auftreffen können. Aufgrund der Wahl von Substanzen in der reaktiven Ablöseschicht 62, die exotherm miteinander reagieren, ist das lokal begrenzte Einbringen eines Energieimpulses ausreichend, um eine Reaktion dieser Substanzen über die gesamte Ablöseschicht 62 hervorzurufen.

[0031] In dem in den **Fig. 3a-c** dargestellten Ausführungsbeispiel wurden die Substanzen in der reaktiven Ablöseschicht 63 wie in dem in **Fig. 2** dargestellten Beispiel dahingehend ausgewählt, dass sie nach Einbringen eines Energieimpulses miteinander derart reagieren, dass die reaktive Ablöseschicht 63 anschließend ein anderes Volumen aufweist, wobei gute Erfahrungen mit Volumenänderungen von ±5% oder mehr gemacht wurden, die zu eine vollständigen Abblättern der reaktiven Ablöseschicht 63 samt reflektierender Beschichtung 54 vom Substrat 59 führen kann, wie in den **Fig. 3b,c** schematisch dargestellt. Außerdem reagieren die mindestens zwei Substanzen exotherm miteinander, so dass ein Einbringen eines oder mehrerer Energieimpulse seitlich in die reaktive Ablöseschicht 63 ausreichen kann, um eine Reaktion in der gesamten reaktiven Ablöseschicht 63 auszulösen. Wie in den zuvor diskutierten Beispielen weist die reaktive Ablöseschicht eine Mehrzahl von Lagen aus den mindestens zwei Substanzen auf, die alternierend angeordnet sind. Der oder die Energieimpulse können seitlich als Strahlungspulse (durch gewellte Pfeile symbolisiert) von Elektronen, Ionen oder elektromagnetischer Strahlung eingebracht werden oder auch durch einen elektrischen Funken, der seitlich unmittelbar in die reaktive Ablöseschicht 63 eingebracht werden. Man kann für das Einbringen eines oder mehrere elektrischer Funken auch eine oder mehrere Flächen der reaktiven Ablöseschicht 63 vorsehen, die nicht von der reflektierenden Beschichtung 54 bedeckt sind, so dass die reaktive Ablöseschicht 63 dort freiliegt. Freiliegende Flächen können auch mit Elektroden kontaktiert werden, um einen elektrischen Energieimpuls in die reaktive Ablöseschicht 63 einzubringen.

[0032] Unabhängig von der Art des Einbringens eines oder mehrere Energieimpulse hat es sich als vorteilhaft erwiesen, dass es sich bei den mindestens zwei Substanzen der reaktiven Ablöseschicht 63 um zwei Metalle oder um ein Metall und einen Halbleiter handelt, um einerseits eine bei Lagerung und normalem Betrieb des reflektiven optischen Elements ein stabile reaktive Ablöseschicht 63 zu haben und andererseits eine Reaktion zu erlauben, die eine Volumenänderung zur Folge hat.

[0033] Als besonders geeignet hat es sich insbesondere herausgestellt, wenn eine der mindestens zwei Substanzen eine aus der Gruppe bestehend aus Titan, Zirkonium, Niob ist und die andere der mindestens zwei Substanzen eine aus der Gruppe gebildet aus Silizium, Kohlenstoff ist, oder, wenn eine der mindestens zwei Substanzen Palladium und die andere der mindestens zwei Substanzen Aluminium ist. Dies erlaubt es bei Reaktion eine Volumenänderung von ±5% oder mehr zu erreichen, so daß ein möglichst vollständiges Ablösen der Ablöseschicht und der reflektierenden Beschichtung gewährleistet werden kann.

[0034] In der folgenden Aufstellung sind exemplarisch mögliche Materialkombinationen nicht abschließend aufgelistet:

Ausgangssubstanzen Reaktionswärme	Reaktionsprodukt	Volumenänderung	
Ti + C	TiC	-23,4%	-93 kJ/Mol
5 Ti + 3 Si	Ti5Si3	-16,2%	-72 kJ/Mol
5 Zr + 3 Si	Zr5Si3	-15,12%	-72 kJ/Mol
5 Nb + 3 Si	Nb5Si3	-15,15%	-57 kJ/Mol
Pd + Al	PdAl	-7,85%	-92 kJ/Mol
Zr + Al	ZrAl	+2,5%	-45 kJ/Mol
Ti + Al	TiAl	+3,61 %	-36 kJ/Mol

[0035] Insgesamt lässt sich der Ablauf der Reaktion in der reaktiven Ablöseschicht nicht nur durch die Wahl geeigneter Substanzen und deren Stöchiometrie, sondern auch durch den Aufbau der reaktiven Ablöseschicht beeinflussen, beispielsweise über die Anzahl der einzelnen Lagen und deren Dicken. Insbesondere

für den Fall, dass die Ablöseschicht aus mindestens zwei Perioden mit Lagen aus unterschiedlichen Materialien aufgebaut ist, wobei die Lagenmaterialabfolge von Periode zu Periode konstant bleibt, ist es von Vorteil, wenn innerhalb auch die entsprechenden Lagendickenverhältnisse konstant gehalten werden, um die Stöchiometrie nicht zu ändern. Dadurch kann ein möglichst vollständiger Reaktionsablauf gewährleistet werden.

[0036] In **Fig. 4** ist eine vierte beispielhafte Ausführungsform eines hier vorgeschlagenen reflektiven optischen Elements dargestellt, bei dem die zwischen reflektierender Beschichtung 54 und Substrat 59 angeordneten Ablöseschicht strukturiert ausgeführt ist, insofern die Ablöseschicht Teilflächen 64a, 64b aufweist, von denen mindestens eine, bevorzugt beide als reaktive Ablöseschicht ausgebildet sind. In weiteren Abwandlungen können drei, vier, fünf, sechs und mehr Teilflächen vorgesehen sein. Dabei weisen die Teilflächen unterschiedlichen Substanzkombinationen auf. So kann etwa eine der Teilflächen nach Reaktion eine Volumenexpansion aufweisen und eine andere eine Volumenkontraktion, um Schichtspannungen über die gesamte Fläche der Ablöseschicht einzubringen. Ferner können die einzelnen Teilflächen in ihrer Auslegung auch dahingehend optimiert werden, dass ggf. nach dem Ablauf der Reaktion noch vorhandene Schicht- bzw. Beschichtungsreste beispielsweise nasschemisch gut entfernt werden können.

[0037] In **Fig. 5** ist eine fünfte beispielhafte Ausführungsform eines hier vorgeschlagenen reflektiven optischen Element dargestellt, das mindestens eine weitere reaktive Ablöseschicht und eine weitere reflektierende Beschichtung aufweist, wobei die mindestens zwei reaktiven Ablöseschichten und die mindestens zwei reflektierenden Beschichtungen alternierend angeordnet sind. Der besseren Übersicht halber sind im hier dargestellten Beispiel genau zwei reflektierende Beschichtungen 54, 54' und zwei reaktive Ablöseschichten 65, 65' alternierend auf einem Substrat 59 angeordnet. In weiteren Abwandlungen kann es sich auch um drei, vier, fünf, sechs und mehr reflektierende Beschichtungen und/oder reaktive Ablöseschichten handeln. Dies erlaubt es, die zum Vakuum offen liegende reflektierende Beschichtung mit darunter liegender reaktiver Ablöseschicht im Bedarfsfall zu entfernen und ohne neues Beschichten eine weitere reflektierende Beschichtung zur Verfügung zu haben.

[0038] In **Fig. 6** ist schematisch ein beispielhafter Ablauf eines hier vorgeschlagenen Verfahrens zur Reparatur und/oder Aufbereitung von reflektiven optischen Elementen für den EUV-Wellenlängenbereich. In einem ersten Schritt 601 „Bereitstellen eines Spiegels mit reaktiver Ablöseschicht“ wird im hier diskutierten Beispiel ein als Spiegel für eine EUV-Lithographievorrichtung ausgestaltetes reflektives optisches Element für den extrem-ultravioletten Wellenlängenbereich bereitgestellt, bei dem zwischen dem Substrat und der reflektierenden Beschichtung einer reaktive Ablöseschicht angeordnet ist. Zu möglichen Ausgestaltungen insbesondere der reaktiven Ablöseschicht wird auf das zuvor Ausgeführte verwiesen. Zu Aufbereitungszwecken, wenn die reflektierende Beschichtung nicht mehr der Anforderungen für eine normalen Betrieb in einer EUV-Lithographievorrichtung genügt, wird in Schritt 603 „Einbringen eines Energiepulses in die reaktive Ablöseschicht“ eine Reaktion innerhalb der reaktiven Ablöseschicht induziert. Die in der Ablöseschicht ablaufende Reaktion hat Schritt 605 „Volumenänderung der reaktiven Ablöseschicht“ zur Folge. Dadurch werden in den EUV-Spiegel Spannungen zwischen Substrat einerseits und reaktiver Ablöseschicht bzw. reflektierender Beschichtung andererseits eingebracht. Diese Spannungen können zu einem Abplatzen der reaktiven Ablöseschicht und der reflektierenden Beschichtung führen, was Schritt 607 „Ablösen der reflektierenden Beschichtung und der reaktiven Ablöseschicht“ entspricht. Im besten Fall ist die reaktive Ablöseschicht derart dimensionier, dass die induzierten Spannungen so groß sind, dass das Substrat quasi rückstandslos freigelegt wird. Dies kann u.a. durch besonders dicke reaktive Ablöseschichten mit einer Mehrzahl von Einzellagen erreicht werden. Eventuell vorliegende Rückstände können auf bekannte Weise, etwa nasschemisch oder durch reaktives Ätzen oder mechanisch durch Polieren entfernt werden. Bei einem Spiegel analog zum in **Fig. 5** dargestellten Beispiel läge somit ein aufbereiteter und reparierter Spiegel vor, bei dem die substratnähere reflektierende Beschichtung (in **Fig. 5** Bezugszeichen 54') freiliegt und der wieder einsatzbereit ist. Bei einem Spiegel analog zum in den **Fig. 3a-c** dargestellten Beispiel liegt ein insofern aufbereiteter Spiegel vor, dass mit Schritt 609 „Aufbringen einer neuen reflektierender Beschichtung“ dieser zu einem wieder einsatzbereiten Spiegel für eine EUV-Lithographievorrichtung repariert werden kann.

[0039] Bei den hier diskutierten reflektiven optischen Elementen für EUV-Strahlung kann es sich u.a. auch um Masken für die EUV-Lithographie handeln oder um EUV-Spiegel, die in optischen Systemen eingesetzt werden, mit denen Wafer, EUV-Spiegel oder EUV-Masken untersucht werden.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Zitierte Patentliteratur

- DE 102012200454 A1 [0005]

Patentansprüche

1. Reflektives optisches Element für den extrem-ultravioletten Wellenlängenbereich, aufweisend ein Substrat und eine reflektierende Beschichtung, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen dem Substrat (59) und der reflektierenden Beschichtung (54, 54') eine reaktive Ablöseschicht (60, 62, 63, 64a, 64b, 65, 65') angeordnet ist.

2. Reflektives optisches Element nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass es mindestens eine weitere reaktive Ablöseschicht (65') und eine weitere reflektierende Beschichtung (54') aufweist, wobei die mindestens zwei reaktiven Ablöseschichten (65, 65') und die mindestens zwei reflektierenden Beschichtungen (54, 54') alternierend angeordnet sind.

3. Reflektives optisches Element nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die reflektierende Beschichtung (54) als Viellagensystem ausgebildet ist, das Lagen (56, 57) aus mindestens zwei verschiedenen Materialien mit unterschiedlichem Realteil des Brechungsindex bei einer Wellenlänge im extrem ultravioletten Wellenlängenbereich aufweist, die alternierend angeordnet sind.

4. Reflektives optisches Element nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die reaktive Ablöseschicht (60, 62, 63, 64a, 64b, 65, 65') mindestens zwei Substanzen aufweist, die nach Einbringen eines Energieimpulses miteinander derart reagieren können, dass die reaktive Ablöseschicht (60, 62, 63, 64a, 64b, 65, 65') ein anderes Volumen aufweist, als vor dem Einbringen des Energieimpulses.

5. Reflektives optisches Element nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass es sich bei den mindestens zwei Substanzen um Substanzen handelt, die exotherm miteinander reagieren.

6. Reflektives optisches Element nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die reaktive Ablöseschicht (60, 62, 63, 64a, 64b, 65, 65') eine Mehrzahl von Lagen (61, 66, 68, 69) aus den mindestens zwei Substanzen aufweist, die alternierend angeordnet sind.

7. Reflektives optisches Element nach einem der Ansprüche 4 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass es sich bei den mindestens zwei Substanzen um zwei Metalle oder um ein Metall und einen Halbleiter handelt.

8. Reflektives optisches Element nach einem der Ansprüche 4 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine der mindestens zwei Substanzen eine aus der Gruppe bestehend aus Titan, Zirkonium, Niob ist und dass die andere der mindestens zwei Substanzen eine aus der Gruppe gebildet aus Silizium, Kohlenstoff ist.

9. Reflektives optisches Element nach einem der Ansprüche 4 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine der mindestens zwei Substanzen Palladium und dass die andere der mindestens zwei Substanzen Aluminium ist.

10. Verfahren zur Reparatur und/oder Aufbereitung von reflektiven optischen Elementen für den EUV-Wellenlängenbereich, mit den Schritten:
- Bereitstellen eines reflektiven optischen Elements für den extrem-ultravioletten Wellenlängenbereich, aufweisend ein Substrat und eine reflektierende Beschichtung, bei dem zwischen dem Substrat und der reflektierenden Beschichtung einer reaktive Ablöseschicht angeordnet ist, insbesondere eines reflektiven optischen Elements gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9;
- Einbringen eines Energieimpulses in die reaktive Ablöseschicht, um eine Reaktion in der reaktiven Ablöseschicht in Gang zu setzten, so dass sich in der reaktiven Ablöseschicht eine Volumenänderung ergibt;
- Ablösen der reflektierenden Beschichtung und der reaktiven Ablöseschicht.

11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Energieimpuls als elektrischer Funke, Laserstrahl, Elektronenstrahl oder Ionenstrahl oder eine Kombination davon in die reaktive Ablöseschicht eingebracht wird.

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die reaktive Ablöseschicht infolge des Einbringens des Energieimpulses eine Volumenänderung von mindestens ±5% erfährt.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach dem Ablösen der reflektierenden Beschichtung und der reaktiven Ablöseschicht eine neue reflektierende Beschichtung aufgebracht wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine neue reaktive Ablöseschicht aufgebracht wird, die zwischen dem Substrat und der neuen reflektierenden Beschichtung aufgebracht wird.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

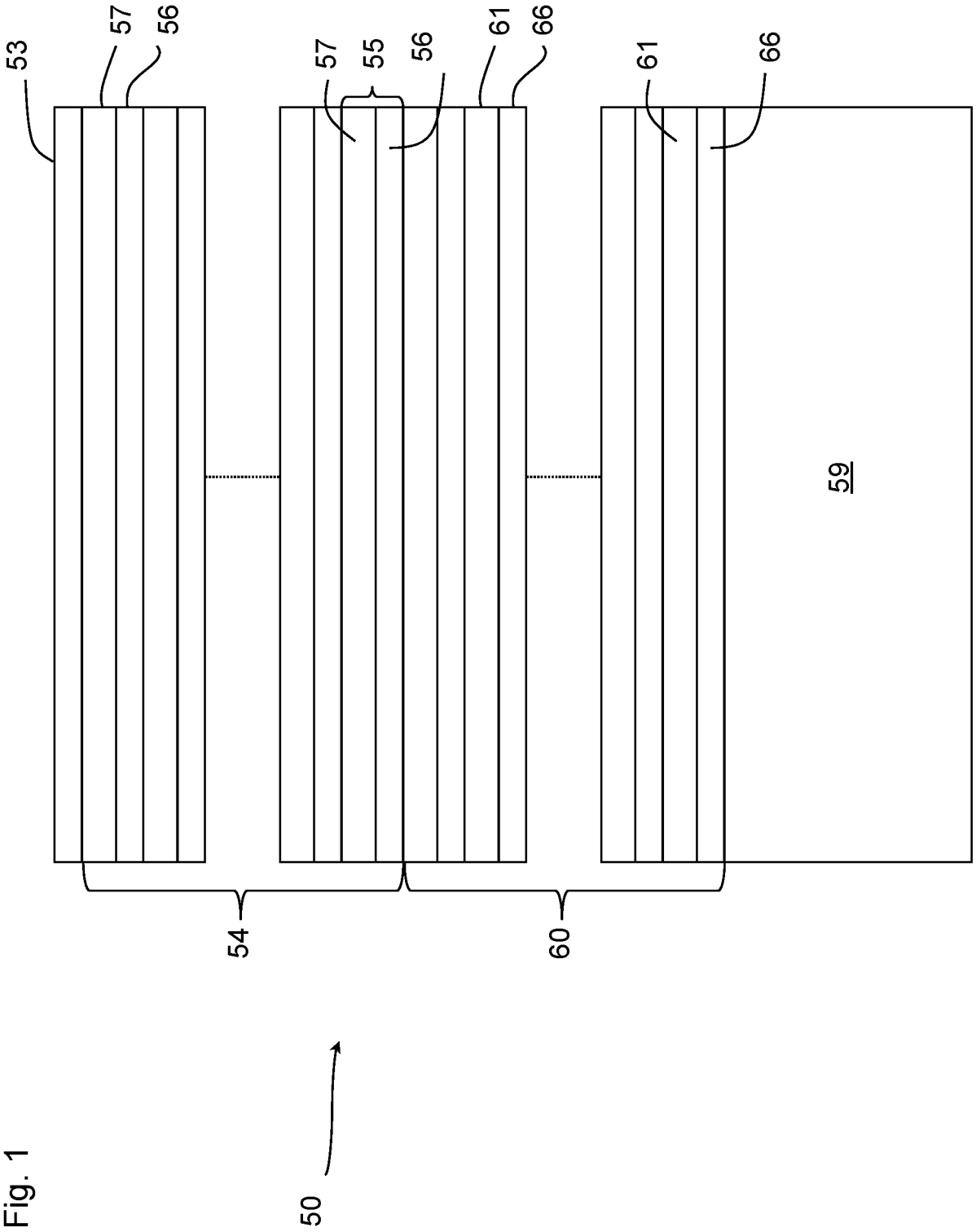


Fig. 1

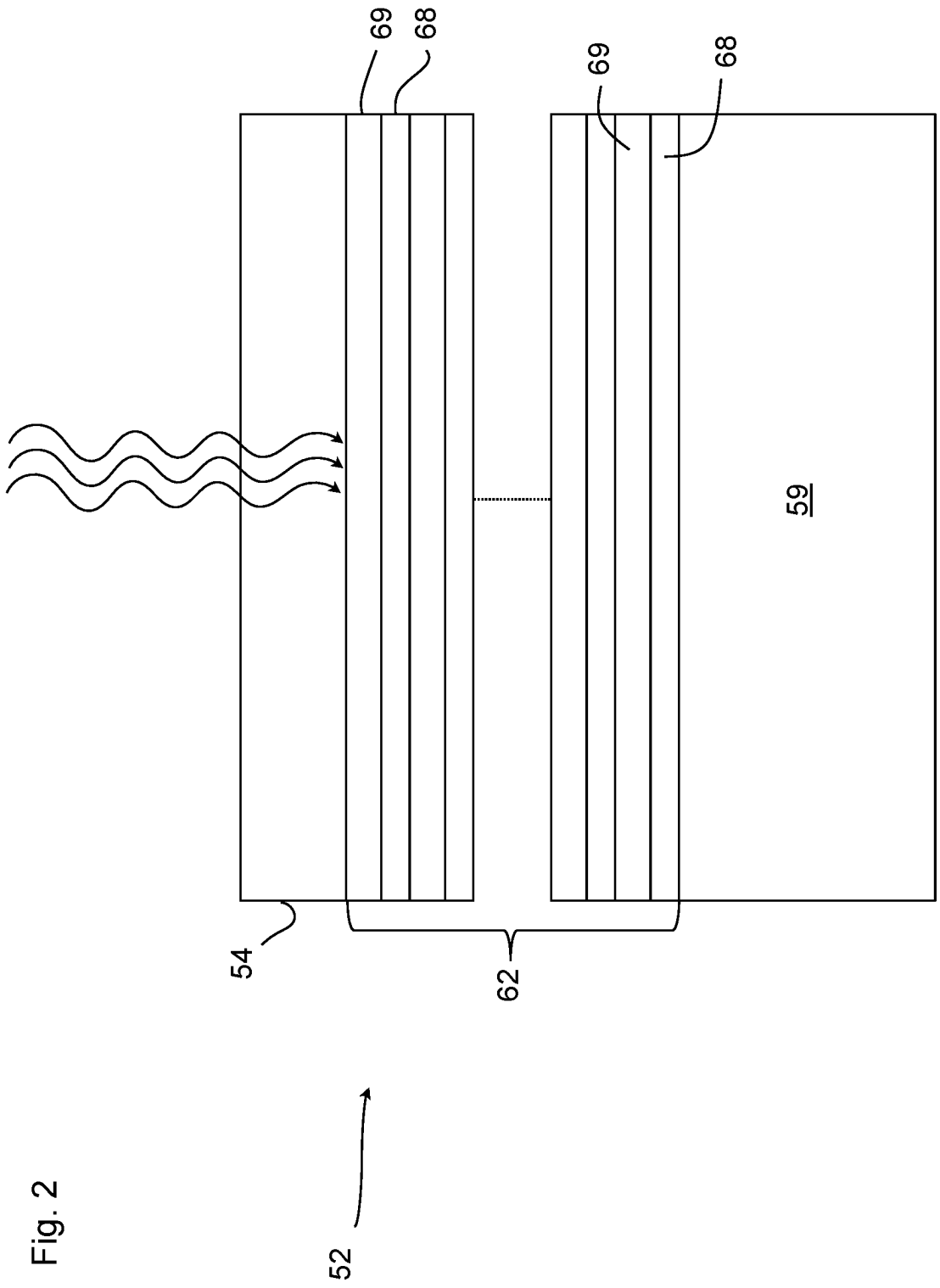


Fig. 2

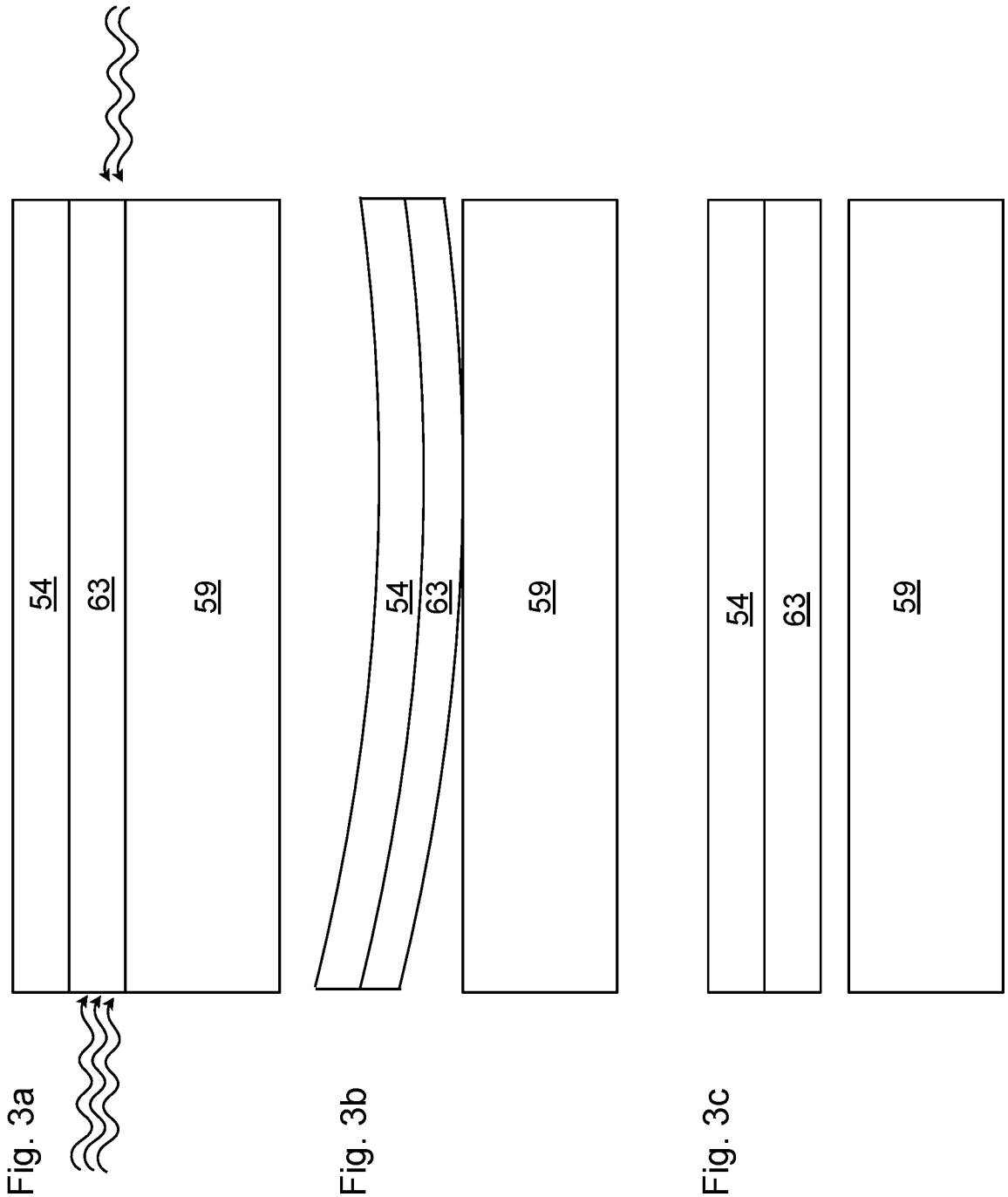


Fig. 3a

Fig. 3b

Fig. 3c

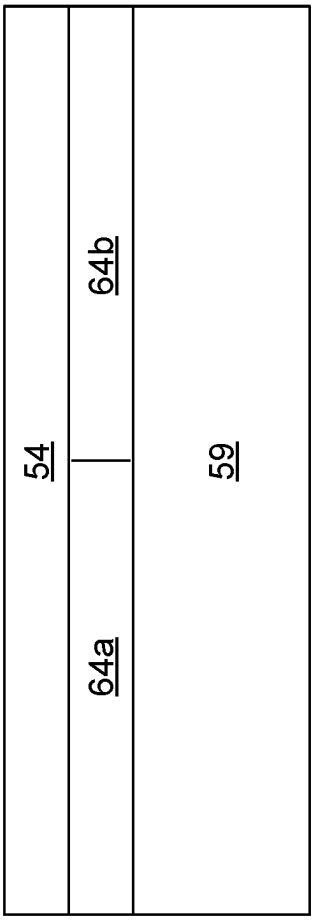


Fig. 4

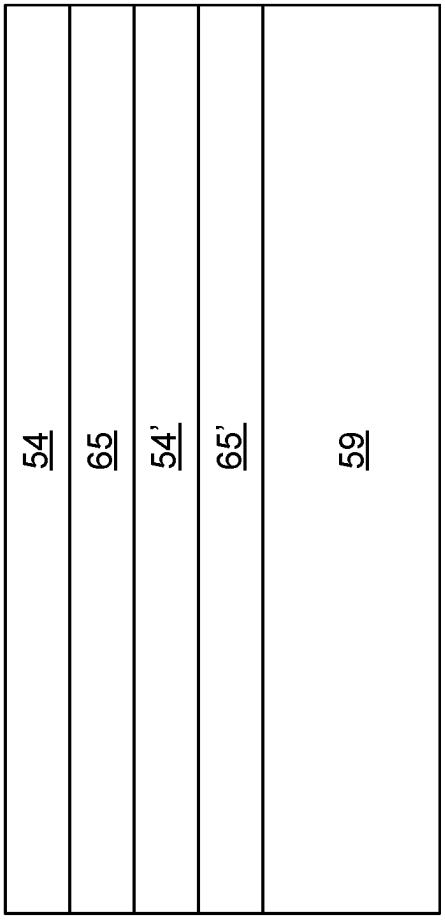


Fig. 5

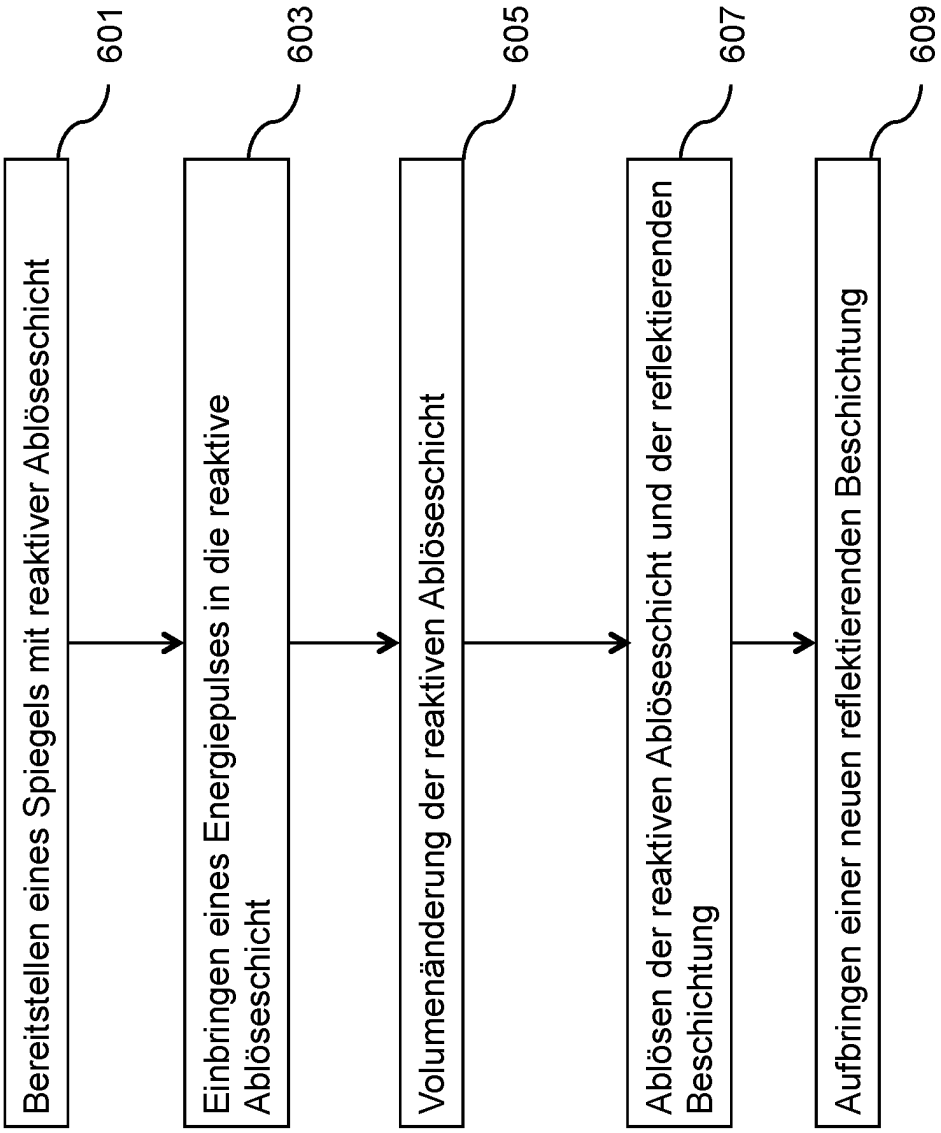


Fig. 6

 Das Dokument wurde durch die Firma Luminess hergestellt.