



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2009 014 610 A1** 2009.10.01

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2009 014 610.5**

(22) Anmeldetag: **24.03.2009**

(43) Offenlegungstag: **01.10.2009**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G03F 1/08** (2006.01)

(30) Unionspriorität:

**2008-094139 31.03.2008 JP**

(74) Vertreter:

**Vossius & Partner, 81675 München**

(71) Anmelder:

**HOYA Corp., Tokyo, JP**

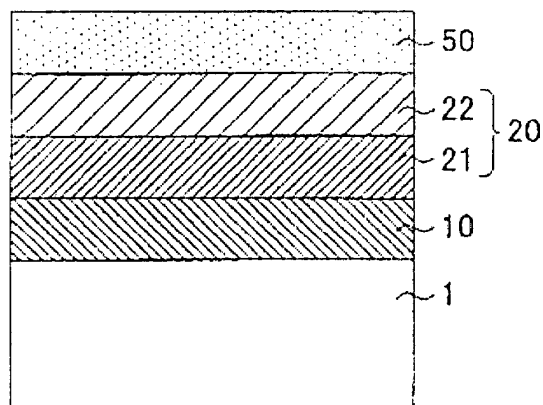
(72) Erfinder:

**Nozawa, Osamu, Tokio, JP**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Fotomaskenrohling, Fotomaske und Verfahren zu ihrer Herstellung**

(57) Zusammenfassung: Durch die vorliegende Erfindung wird ein Fotomaskenrohling zum Herstellen einer Phasenverschiebungsmaske mit einem lichtdurchlässigen Substrat bereitgestellt, auf dem ein Phasenverschiebungsabschnitt bereitgestellt wird, der dazu geeignet ist, transmittiertem Belichtungslicht eine vorgegebene Phasendifferenz zu verleihen. Der Phasenverschiebungsabschnitt ist ein Abtragungsabschnitt, der von einer Oberfläche des lichtdurchlässigen Substrats bis zu einer Abtragtiefe abgetragen wird, die dazu geeignet ist, die vorgegebene Phasendifferenz bezüglich Belichtungslicht zu erzeugen, das an einem Abschnitt durch das lichtdurchlässige Substrat transmittiert wird, in dem der Phasenverschiebungsabschnitt nicht bereitgestellt wird. Der Fotomaskenrohling weist eine auf der abtragseitigen Oberfläche des lichtdurchlässigen Substrats angeordnete Ätzmaskenschicht auf, die aus einem Material hergestellt ist, das durch ein Gas auf Chlorbasis trockenätzbar ist, aber durch ein Gas auf Fluorbasis nicht trockenätzbar ist, und mindestens bis zu dem Zeitpunkt als Ätzmaste dient, zu dem beim Ausbilden des Abtragungsabschnitts durch Trockenätzen der Abtragtiefe erreicht ist. Die Fotomaske weist ferner eine auf einer Oberfläche der Ätzmaskenschicht ausgebildete lichtabschirmende Schicht auf, die aus einem Material hergestellt ist, das hauptsächlich Tantal enthält, und eine derartige Dicke hat, dass sie während des Trockenätzens zum Ausbilden des Abtragungsabschnitts des lichtdurchlässigen Substrats ...



**Beschreibung**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung basiert auf und beansprucht die Prioritätsvorteile von der am 31. März 2008 eingereichten japanischen Patentanmeldung Nr. 2008-94139, auf deren Offenbarung hierin in ihrer Gesamtheit durch Verweis Bezug genommen wird.

**[0002]** Die vorliegende Erfindung betrifft einen Fotomaskenrohling und eine Fotomaske zur Verwendung bei der Herstellung von Halbleiterbauelementen und ähnlichen Elementen und Verfahren zu ihrer Herstellung.

**[0003]** Eine Miniaturisierung von Halbleiterbauelementen und ähnlichen Elementen hat den Vorteil, dass eine Verbesserung des Leistungsvermögens und der Funktion (Hochgeschwindigkeitsbetrieb, niedriger Energieverbrauch, usw.) und eine Kostensenkung erzielt werden und schreitet beschleunigt voran. Eine derartige Miniaturisierung wird durch die Lithografiertechnik unterstützt. Eine in Verbindung mit einer Belichtungsvorrichtung und einem Resistmaterial verwendete Übertragungsmaske bildet hierbei eine der Schlüsseltechniken.

**[0004]** In den vergangenen Jahren ist die Technologie für eine gemäß der Halbleiter-Designregel definierte 45 nm- bis 32 nm-Generation (Strukturbreite (Half Pitch (hp)) von 45 nm bis 32 nm) entwickelt worden. Die Strukturbreite von 45 nm bis 32 nm entspricht 1/4 bis 1/6 der Wellenlänge von 193 nm von ArF-Excimerlaser-Belichtungslicht (das nachstehend als "ArF-Belichtungslicht" bezeichnet wird). Insbesondere ist in der 45 nm-Generation und darunter die Anwendung ausschließlich der RET-Technik (Resolution Enhancement Technology), wie beispielsweise einer herkömmlichen Phasenverschiebungstechnik, einer Beleuchtung unter schrägem Lichteinfall und einer Pupillenfilterung, und der OPC-Technik (Optical Proximity Correction (optische Abstandskorrektur)) unzureichend geworden. Daher sind die Hyper-NA-Technik (Immersionlithografie) und die Doppelbelichtungs (Doppelstrukturierungs) technik erforderlich.

**[0005]** Inzwischen werden bei der Halbleiterherstellung erforderliche Schaltungsmuster durch mehrere Fotomasken (Retikel) muster sequenziell auf einem Halbleiterwafer belichtet. Beispielsweise projiziert und belichtet eine verkleinernde Projektionsbelichtungsvorrichtung, in der ein vorgegebenes Retikel angeordnet ist, Muster wiederholt, während Projektionsbereiche auf einem Halbleiterwafer sequenziell verschoben werden (Step-and-Repeat-System), oder projiziert und belichtet Muster wiederholt, während das Retikel und ein Halbleiterwafer bezüglich eines optischen Projektionssystems synchron gescannt werden (Step-and-Scan-System). Dadurch werden im Halbleiterwafer eine vorgegebene Anzahl von IC-Chipbereichen ausgebildet.

**[0006]** Eine Fotomaske (Retikel) weist einen Bereich auf, in dem ein Übertragungsmuster ausgebildet ist, und einen Umfangsabschnitt davon, d. h. einen Randbereich entlang den vier Seiten der Fotomaske (Retikel). Wenn das Übertragungsmuster der Fotomaske (Retikel) belichtet wird, während Projektionsbereiche auf einem Halbleiterwafer sequenziell verschoben werden, wird das Übertragungsmuster belichtet und auf die Projektionsbereiche übertragen, so dass die Umfangsbereiche der Fotomaske sich überlappen, um die Anzahl herstellbarer IC-Chips zu erhöhen. Um zu verhindern, dass ein Resist auf dem Wafer durch eine derartige überlappende Belichtung belichtet wird, wird im Umfangsbereich der Fotomaske durch eine Maskenbearbeitung ein lichtabschirmender Streifen (Lichtabschirmungsstreifen oder Lichtabschirmungsring) ausgebildet.

**[0007]** Das Phasenverschiebungsverfahren ist eine Technik, gemäß der Belichtungslicht, das durch einen Phasenverschiebungsabschnitt transmittiert wird, eine vorgegebene Phasendifferenz aufgeprägt wird, um die Auflösung eines Übertragungsmusters unter Verwendung von Lichtinterferenz zu verbessern.

**[0008]** Als Fotomasken mit einer durch das Phasenverschiebungsverfahren verbesserten Auflösung sind ein Substratabtragungstyp, bei dem ein Phasenverschiebungsabschnitt durch Abtragen eines Quarzsubstrats durch Ätzen oder ein ähnliches Verfahren bereitgestellt wird, und ein Typ bekannt, bei dem ein Phasenverschiebungsabschnitt durch Strukturieren einer auf einem Substrat ausgebildeten Phasenverschiebungsschicht bereitgestellt wird.

**[0009]** Als Fotomasken des Substratabtragungs(einritz)typs sind Phasenverschiebungsmasken des Levenson-Typs, eine auflösungsverbessernde Phasenverschiebungsmaske, eine chromfreie Phasenverschiebungsmaske, usw. bekannt. Als chromfreie Phasenverschiebungsmasken ist ein Typ bekannt, bei dem eine lichtabschirmende Lage linienweise vollständig entfernt ist, und ein Typ, bei dem eine lichtabschirmende Lage auf Linien strukturiert ist (sogenannter Zebra-Typ). Eine Phasenverschiebungsmaske des Levenson-Typs oder eine chromfreie Phasenverschiebungsmaske des Typs, bei dem eine lichtabschirmende Lage in einem Übertragungsbereich vollständig entfernt ist, wird auch als alternativer Phasenschieber bezeichnet, der eine Phasenverschiebungsmaske des Typs ist, bei dem auf einen Phasenverschiebungsabschnitt auftreffendes Belich-

tungslicht zu etwa 100% transmittiert wird. Eine auflösungsverbessernde Phasenverschiebungsmaske weist einen Lichtabschirmungsabschnitt, einen Lichtdurchlassgradsteuerungsabschnitt (Phasenverschiebung von  $360^\circ = 0^\circ$ ) und einen  $180^\circ$ -Phasenverschiebungsabschnitt auf, der durch Abtragen eines Glases ausgebildet wird. Bei jedem Typ muss ein Lichtabschirmungsstreifen in einem Randabschnitt (Umfangsbereich) entlang vier Seiten der Fotomaske (Retikel) ausgebildet werden.

**[0010]** Als ein Fotomaskenrohling zum Herstellen einer derartigen chromfreien Phasenverschiebungsmaske ist ein Maskenrohling bekannt, bei dem eine lichtabschirmende CrO/Cr-Schicht mit einer Gesamtdicke von 70 bis 100 nm, die eine aus Cr hergestellte lichtabschirmende Lage und eine aus CrO hergestellte Lage mit niedrigem Reflexionsvermögen aufweist, die stapelförmig aufeinander angeordnet sind, auf einem transparenten Substrat angeordnet ist (vergl. JP-A-2007-241136 (Patentdokument 1), Abschnitt [0005]). In Herstellungsprozessen für die chromfreie Phasenverschiebungsmaske wird das Substrat unter Verwendung eines lichtabschirmenden Schichtmusters als Ätzmaske abgetragen, und nach dem Entfernen eines zum Ausbilden des lichtabschirmenden Schichtmusters verwendeten Resistmusters wird ein Resistmaterial erneut aufgebracht und einem Belichtungs- und Entwicklungsprozess unterzogen, um einen Abschnitt zu schützen, in dem die lichtabschirmende Schicht erhalten bleiben soll, woraufhin die lichtabschirmende Schicht an einem unnötigen Abschnitt durch Ätzen entfernt wird, wodurch eine Fotomaske mit einem gewünschten Lichtabschirmungsstreifen im Substratumfangsbereich und einem lichtabschirmenden Muster im Übertragungsbereich erhalten wird. D. h., die lichtabschirmende Schicht erfüllt sowohl eine Funktion als eine Ätzmaske (sogenannte harte Maske), als auch eine Funktion als Schicht zum Ausbilden des Lichtabschirmungsstreifens und des lichtabschirmenden Musters (Funktion zum Gewährleisten des Lichtabschirmungsvermögens).

**[0011]** Im Allgemeinen ist es zum Verbessern der kleinsten Strukturgröße CD (Critical Dimension) einer Fotomaske zweckdienlich, die Dicke einer lichtabschirmenden Schicht und die Dicke eines Resistmaterials zum Ausbilden der lichtabschirmenden Schicht zu vermindern. Wenn die Dicke der lichtabschirmenden Schicht vermindert wird, nimmt jedoch der OD-Wert (optische Dichte) ab. Im Fall der vorstehend erwähnten lichtabschirmenden CrO/Cr-Schicht ist zum Erzielen eines allgemein erforderlichen OD-Wertes von 3 mindestens eine Gesamtdicke von etwa 60 nm erforderlich, so dass es schwierig ist, ihre Dicke wesentlich zu vermindern. Wenn die Dicke der lichtabschirmenden Schicht nicht vermindert werden kann, kann aufgrund der Ätzselektivität zwischen der lichtabschirmenden Schicht und dem Resistmaterial auch die Dicke der Resistschicht nicht vermindert werden. Daher kann keine wesentliche Verbesserung des CD-Wertes erwartet werden.

**[0012]** Als eine Maßnahme zum Lösen dieses Problems wird in Patentdokument 1 ein Verfahren vorgeschlagen. Dieses Verfahren zielt darauf ab, die vorstehende Anforderung durch Ausbilden einer lichtabschirmenden Schicht und einer Ätzmaskenschicht aus verschiedenen Materialien zu erfüllen.

**[0013]** Im im Patentdokument 1 beschriebenen Verfahren besteht die Schichtstruktur beispielsweise aus einem Substrat/einer zweiten Ätzmaskenschicht auf Cr-Basis/einer lichtabschirmenden Schicht auf MoSi-Basis/einer ersten Ätzmaskenschicht auf Cr-Basis (die auch als Antireflexionsschicht dient), so dass an der äußersten Fläche, die am weitesten vom Substrat entfernt ist, ein Material auf Cr-Basis als die erste Ätzmaskenschicht verwendet wird (vergl. Patentdokument 1, Abschnitt [0038], usw.). Dadurch ist eine auf die obere Fläche der ersten Ätzmaskenschicht aufzubringende Resistschicht lediglich erforderlich, um ein Muster auf die erste Ätzmaskenschicht zu übertragen, so dass eine gewisse Verminderung der Resistschichtdicke erzielt werden kann. Die erste Ätzmaskenschicht aus dem Material auf Cr-Basis sollte durch ein Mischgas aus Chlor und Sauerstoff geätzt werden, so dass die Ätzselektivität bezüglich des Resistmaterials gering ist (der Ätzgrad des Resistmaterials ist groß). Daher tritt ein Problem dahingehend auf, dass es schwierig ist, die Dicke der Resistschicht wesentlich zu vermindern (eine Resistschichtdicke von 200 nm oder weniger oder sogar von 150 nm zu realisieren), und keine ausreichende CD-Genauigkeit einstellbar ist, so dass es schwierig ist, eine hohe Genauigkeit mit einer Maskenmustersauflösung von 65 nm oder weniger oder sogar 50 nm oder weniger zu realisieren.

**[0014]** Außerdem ist gemäß dem in Patentdokument 1 vorgeschlagenen Verfahren die Schichtstruktur derart, dass die beiden Ätzmaskenschichten auf Cr-Basis über und unter der lichtabschirmenden Schicht auf MoSi-Basis ausgebildet sind, so dass ein Problem dahingehend auftritt, dass die Prozesse zum Herstellen des Fotomaskenrohlings kompliziert werden.

**[0015]** Außerdem tritt ein Problem dahingehend auf, dass die Herstellungsverfahren kompliziert werden, weil die Anzahl der Schichten groß ist. Beispielsweise muss gemäß diesem Verfahren ein Fotomaskenrohling mit einer Schichtstruktur: Substrat/zweite Ätzmaskenschicht auf Cr-Basis/lichtabschirmende Schicht auf MoSi-Basis/erste Ätzmaskenschicht auf Cr-Basis (die auch als Antireflexionsschicht dient) verwendet werden (vergl.

Patentdokument 1, Abschnitt [0038] usw.), so dass ein Problem dahingehend auftritt, dass die Fertigungsprozesse aufgrund einer hohen Anzahl von Lagen oder Schichten kompliziert wird.

**[0016]** Die vorstehende Beschreibung trifft auch auf den Fall zu, in dem ein Fotomaskenrohling beispielsweise mit einer Schichtstruktur: Substrat/Phasenverschiebungsschicht auf Mo-Si-Basis/zweite Ätzmaskenschicht auf Cr-Basis/lichtabschirmende Schicht auf MoSi-Basis/erste Ätzmaskenschicht auf Cr-Basis (die auch als Antireflexionsschicht dient) verwendet wird (vergl. JP-A-2007-241065 (Patentdokument 2), Abschnitt [0174] usw.), so dass ein Problem dahingehend auftritt, dass der Herstellungsprozess aufgrund einer großen Anzahl von Lagen oder Schichten kompliziert wird.

**[0017]** Außerdem hat die aus einem Material auf MoSi-Basis hergestellte lichtabschirmende Schicht eine geringe Beständigkeit bezüglich einer chemischen Reinigung (insbesondere bezüglich einer Reinigung mit einem Ammoniak-Wasserstoffperoxid-Gemisch), und hat außerdem eine geringe Beständigkeit bezüglich einer Reinigung mit heißem Wasser (z. B. bezüglich einer Reinigung mit 90°C heißem Wasser), so dass ein Problem hinsichtlich der Reinigung nach der Herstellung einer Fotomaske auftritt.

**[0018]** Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, Verfahren zum Herstellen eines Fotomaskenrohlings und einer Fotomaske bereitzustellen, in denen die Herstellungsprozesse vereinfacht sind, ohne dass Kompromisse hinsichtlich der Verarbeitungsgenauigkeit gemacht werden.

**[0019]** Es ist eine andere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, Verfahren zum Herstellen eines Fotomaskenrohlings und einer Fotomaske bereitzustellen, in denen die Anzahl der Schichten oder Lagen vermindert ist, ohne dass Kompromisse hinsichtlich der Verarbeitungsgenauigkeit gemacht werden.

**[0020]** Es ist eine weitere Aufgabe der Erfindung, Verfahren zum Herstellen eines Fotomaskenrohlings und einer Fotomaske bereitzustellen, durch die mit einer kleinen Anzahl von Schichten oder Lagen die folgenden fünf Ergebnisse (1) bis (5) erzielt werden können, die eng miteinander in Beziehung stehen:

- (1) Es wird eine Auflösung von 65 nm oder weniger und sogar von 50 nm oder weniger bezüglich eines Musters auf einer Fotomaske realisiert;
- (2) Es wird eine optische Dichte  $OD > 3$  eines lichtabschirmenden Abschnitts gewährleistet, der eine lichtabschirmende Schicht oder eine lichtabschirmende Schicht und eine darauf und eine darunter angeordnete Schicht aufweist;
- (3) Es wird ein Kollabieren eines Resistmusters verhindert, indem durch eine Verminderung der Resistschichtdicke ein Verhältnis zwischen der Höhe (Dicke) des Resistmusters und seiner Breite von 3 oder weniger realisiert wird (indem eine Resistschichtdicke von 200 nm oder weniger und sogar 150 nm realisiert wird);
- (4) Es wird die Leitfähigkeit einer Schicht gewährleistet, die mit einem Elektronenstrahl(EB)resist beschichtet ist; und
- (5) Es wird die Beständigkeit einer von einem Fotomaskenrohling hergestellten Fotomaske bezüglich einer chemischen Reinigung und einer Reinigung mit heißem Wasser verbessert.

**[0021]** Der vorliegende Erfinder hat festgestellt, dass die vorstehenden Aufgaben nicht durch Verwendung einer dünnen Schicht auf Cr-Basis als Ätzmaskenschicht gelöst werden können, die direkt mit einem Resistschichtmuster übertragen werden soll, wie gemäß dem in Patentdokument 1 beschriebenen Verfahren, in dem die Schichtstruktur beispielsweise aus einem Substrat/einer zweiten Ätzmaskenschicht auf Cr-Basis/einer lichtabschirmenden Schicht auf MoSi-Basis/einer ersten Ätzmaskenschicht auf Cr-Basis (die auch als Antireflexionsschicht dient) besteht, sondern unter Verwendung einer lichtabschirmenden Schicht, die hauptsächlich Ta enthält und ein Resistschichtmuster direkt auf die lichtabschirmende Schicht überträgt, und hat die vorliegende Erfindung entwickelt.

**[0022]** In der vorliegenden Erfindung wird beispielsweise in einer Halbton-Phasenverschiebungsmaske oder in einer Phasenverschiebungsmaske des Glasabtragungstyps ein Photomaskenrohling mit einer lichtabschirmenden Schicht verwendet, in der eine dünne Lage, die hauptsächlich Cr enthält, eine lichtabschirmende Lage, die hauptsächlich Ta enthält, und eine Antireflexionslage, die hauptsächlich Ta-Oxid enthält, nacheinander stapelförmig angeordnet sind.

**[0023]** Die dünne Lage, die hauptsächlich Cr enthält, wird durch ein Gas auf Fluorbasis nicht wesentlich trockengeätzt und dient daher beim Ätzen einer Halbton-Phasenverschiebungsschicht oder eines Glassubstrats unter Verwendung eines Gases auf Fluorbasis als eine Ätzmaske (die auch als harte Maske bezeichnet wird). Die Antireflexionslage, die hauptsächlich Ta-Oxid enthält, wird durch ein Mischgas aus einem Gas auf Chlor-

basis und einem Sauerstoffgas nicht wesentlich trockengeätzt, und außerdem ist Ta ein Material, das leicht oxidiert und daher durch ein Mischgas aus Chlor und Sauerstoff oxidiert und nicht wesentlich trockengeätzt wird. Daher dient die Antireflexionslage, die hauptsächlich Ta-Oxid enthält, beim Ätzen der dünnen Lage, die hauptsächlich Cr enthält, durch ein Mischgas aus einem Gas auf Chlorbasis und einem Sauerstoffgas als eine harte Maske. Eine Resistschicht hat eine höhere Ätzbeständigkeit bezüglich eines Gases auf Fluorbasis, das zum Trockenätzen einer lichtabschirmenden Schicht auf Ta-Basis verwendet wird, als bezüglich eines Mischgases aus einem Gas auf Chlorbasis und einem Sauerstoffgas. Daher kann eine Verminderung der Resistschichtdicke erzielt werden, und ferner kann die Verarbeitungsgenauigkeit bei der Übertragung eines Musters auf die lichtabschirmende Schicht auf Ta-Basis erhöht werden.

**[0024]** Die lichtabschirmende Lage, die hauptsächlich Ta enthält, und die Antireflexionslage, die hauptsächlich Ta-Oxid enthält, werden während des Ätzens durch ein Gas auf Fluorbasis zum Ausbilden eines Phasenverschiebungsmusters entfernt, so dass nach der Ausbildung des Phasenverschiebungsmusters nur die dünne Lage erhalten bleibt, die hauptsächlich Cr enthält. Daher können auch die Fertigungsprozesse zum Herstellen einer Fotomaske vereinfacht werden.

**[0025]** Die Wirkungen der vorliegenden Erfindung werden nachstehend dargestellt.

(1) Eine Schicht auf Ta-Basis wird beim Ätzen einer Schicht auf Cr-Basis als harte Maske verwendet, wodurch eine für eine Feinmusters Ausbildung erforderliche Verminderung der Resistschichtdicke ermöglicht wird. Gleichzeitig wird ein ausreichendes Lichtabschirmungsvermögen (OD) beibehalten.

(2) Die Schicht auf Ta-Basis wird während des Ätzens durch ein Gas auf Fluorbasis zum Ausbilden eines Phasenverschiebungsmusters entfernt, und die restliche Schicht auf Cr-Basis kann durch Trockenätzen durch ein Mischgas aus einem Gas auf Chlorbasis und einem Sauerstoffgas oder durch eine chemische Lösung, z. B. Cer-Ammoniaknitrat, entfernt werden, ohne dass das Phasenverschiebungsmuster beschädigt wird.

(3) Durch Ausbilden einer Antireflexionslage als eine Ta-Oxidlage kann die Beständigkeit bezüglich heißem Wasser und Alkali verbessert werden, was ansonsten mit einer Antireflexionsschicht aus MoSiON oder einer ähnlichen Schicht zu einem Problem führen könnte.

**[0026]** Die vorstehenden Aufgaben werden durch die Merkmale der Patentansprüche gelöst.

**[0027]** Erfindungsgemäß können Verfahren zum Herstellen eines Fotomaskenrohlings und einer Fotomaske bereitgestellt werden, in denen die Fertigungsprozesse vereinfacht sind, ohne dass Kompromisse hinsichtlich der Verarbeitungsgenauigkeit gemacht werden müssen.

**[0028]** Erfindungsgemäß können Verfahren zum Herstellen eines Fotomaskenrohlings und einer Fotomaske bereitgestellt werden, durch die die Anzahl der Schichten oder Lagen vermindert wird, ohne dass Kompromisse hinsichtlich der Verarbeitungsgenauigkeit gemacht werden müssen.

**[0029]** Erfindungsgemäß können Verfahren zum Herstellen eines Fotomaskenrohlings und einer Fotomaske bereitgestellt werden, durch die mit einer kleinen Anzahl von Schichten oder Lagen die folgenden fünf Ergebnisse (1) bis (5) erzielt werden können, die eng miteinander in Beziehung stehen:

(1) Es wird eine Auflösung von etwa 65 nm oder weniger und sogar von 50 nm oder weniger bezüglich eines Musters auf einer Fotomaske realisiert;

(2) Es wird eine optische Dichte  $OD > 3$  eines lichtabschirmenden Abschnitts gewährleistet, der eine lichtabschirmende Schicht oder eine lichtabschirmende Schicht und eine darauf und eine darunter angeordnete Schicht aufweist;

(3) Es wird ein Kollabieren eines Resistmusters verhindert, indem durch eine Verminderung der Resistschichtdicke ein Verhältnis zwischen der Höhe (Dicke) des Resistmusters und seiner Breite von 3 oder weniger realisiert wird (indem eine Resistschichtdicke von 200 nm oder weniger und sogar 150 nm realisiert wird);

(4) Es wird die Leitfähigkeit einer Schicht gewährleistet, die mit einem Elektronenstrahl(EB)resist beschichtet ist;

(5) Es wird die Beständigkeit einer von einem Fotomaskenrohling hergestellten Fotomaske bezüglich einer chemischen Reinigung und einer Reinigung mit heißem Wasser verbessert.

**[0030]** Die Erfindung wird nachstehend unter Bezug auf die Zeichnungen näher beschrieben; es zeigen:

**[0031]** **Fig. 1** eine exemplarische Querschnittansicht zum Darstellen eines Beispiels einer ersten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Fotomaskenrohlings;

- [0032] [Fig. 2](#) eine exemplarische Querschnittansicht zum Darstellen eines Beispiels einer zweiten oder dritten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Fotomaskenrohlings;
- [0033] [Fig. 3](#) eine exemplarische Querschnittansicht zum Darstellen eines Beispiels einer vierten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Fotomaskenrohlings;
- [0034] [Fig. 4A](#) bis [Fig. 4I](#) exemplarische Querschnittansichten zum Erläutern von Prozessen zum Herstellen einer erfindungsgemäßen Fotomaske gemäß Beispiel 1;
- [0035] [Fig. 5A](#) bis [Fig. 5J](#) exemplarische Querschnittansichten zum Erläutern von Prozessen zum Herstellen einer erfindungsgemäßen Fotomaske gemäß Beispiel 2;
- [0036] [Fig. 6A](#) bis [Fig. 6I](#) exemplarische Querschnittansichten zum Erläutern von Prozessen zum Herstellen einer erfindungsgemäßen Fotomaske gemäß Beispiel 3;
- [0037] [Fig. 7A](#) bis [Fig. 7J](#) exemplarische Querschnittansichten zum Erläutern von Prozessen zum Herstellen einer erfindungsgemäßen Fotomaske gemäß Beispiel 4;
- [0038] [Fig. 8A](#) bis [Fig. 8J](#) exemplarische Querschnittansichten zum Erläutern von Prozessen zum Herstellen einer erfindungsgemäßen Fotomaske gemäß Beispiel 5; und
- [0039] [Fig. 9A](#) bis [Fig. 9K](#) exemplarische Querschnittansichten zum Erläutern von Prozessen zum Herstellen einer erfindungsgemäßen Fotomaske gemäß Beispiel 6.
- [0040] Gemäß dem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Fotomaskenrohling zum Herstellen einer Phasenverschiebungsmaske mit einem lichtdurchlässigen Substrat bereitgestellt, auf dem ein Phasenverschiebungsabschnitt bereitgestellt wird, der dazu geeignet ist, transmittiertem Belichtungslicht eine vorgegebene Phasendifferenz zu verleihen, wobei der Phasenverschiebungsabschnitt ein Abtragungsabschnitt ist, der von einer Oberfläche des lichtdurchlässigen Substrats bis zu einer Abtragtiefe abgetragen wird, die dazu geeignet ist, die vorgegebene Phasendifferenz bezüglich Belichtungslicht zu erzeugen, das an einem Abschnitt durch das lichtdurchlässige Substrat transmittiert wird, in dem der Phasenverschiebungsabschnitt nicht bereitgestellt wird, wobei der Fotomaskenrohling aufweist:  
eine auf einer abtragseitigen Oberfläche des lichtdurchlässigen Substrats angeordnete Ätzmaskenschicht, die aus einem Material hergestellt ist, das durch ein Gas auf Chlorbasis trockenätzbar ist, aber durch ein Gas auf Fluorbasis nicht trockenätzbar ist und mindestens bis zu dem Zeitpunkt als eine Ätzmaske dient, zu dem beim Ausbilden des Abtragungsabschnitts durch Trockenätzen die Abtragtiefe erreicht wird; und  
eine auf einer Oberfläche der Ätzmaskenschicht ausgebildete lichtabschirmende Schicht, die aus einem Material hergestellt ist, die hauptsächlich Tantal enthält, und eine derartige Dicke hat, dass sie während des Trockenätzens zum Ausbilden des Abtragungsabschnitts des lichtdurchlässigen Substrats entferntbar ist.
- [0041] In der vorliegenden Erfindung weist das Material, das durch das Gas auf Fluorbasis nicht trockenätzbar ist, auch ein Material auf, das physikalisch geätzt wird, aber als eine Ätzmaske dient, bis der Abtragungsabschnitt die Abtragungstiefe erreicht, die dazu geeignet ist, die vorgegebene Phasendifferenz zu erzeugen, während der Ätzvorgang unter Verwendung des Gases auf Fluorbasis zum Ausbilden des Abtragungsabschnitts auf dem lichtdurchlässigen Substrat ausgeführt wird.
- [0042] Gemäß diesem Aspekt wird die lichtabschirmende Schicht, die aus dem Material hergestellt ist, das hauptsächlich Tantal aufweist, und eine Dicke hat, gemäß der sie während des Trockenätzens zum Ausbilden des Abtragungsabschnitts des lichtdurchlässigen Substrats entferntbar ist, während des Trockenätzens zum Ausbilden des Abtragungsabschnitts des lichtdurchlässigen Substrats entfernt wird. Dadurch können die Fertigungsprozesse vereinfacht werden.
- [0043] Außerdem kann unter Verwendung der lichtabschirmenden Schicht auf Tantalbasis eine Dickenverminderung eines darauf auszubildenden Resists erzielt werden, was für eine Feinmusterbildung erforderlich ist. Dies ist der Fall, weil das Resist bezüglich eines Ätzgases für die lichtabschirmende Schicht auf Tantalbasis hochgradig beständig ist.
- [0044] Außerdem kann eine von diesem Fotomaskenrohling hergestellte Fotomaske bezüglich einer chemischen Reinigung und einer Reinigung durch heißes Wasser hochgradig beständig sein. Dies ist der Fall, weil

die lichtabschirmende Schicht auf Tantalbasis bezüglich einer chemischen Reinigung (insbesondere einer Ammoniak-Wasserstoffperoxid-Reinigung) und einer Reinigung mit heißem Wasser hochgradig beständig ist.

**[0045]** [Fig. 1](#) zeigt ein Beispiel einer ersten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Fotomaskenrohlings.

**[0046]** Der in [Fig. 1](#) dargestellte Fotomaskenrohling wird zum Herstellen einer Phasenverschiebungsmaske des Substratabtragungstyps verwendet.

**[0047]** Dieser Fotomaskenrohling weist eine Ätzmaskenschicht **10**, eine lichtabschirmende Schicht **20** auf Ta-Basis, die aus der lichtabschirmenden Lage **21** auf Ta-Basis und einer Antireflexionslage **22** auf Ta-Basis besteht, und eine Resistschicht **50** auf, die nacheinander auf einer Oberfläche eines transparenten Substrats **1** ausgebildet sind.

**[0048]** [Fig. 4](#) zeigt ein Beispiel einer Phasenverschiebungsmaske des Substratabtragungstyps.

**[0049]** Gemäß einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Fotomaskenrohling zum Herstellen einer Phasenverschiebungsmaske mit einem lichtdurchlässigen Substrat bereitgestellt, auf dem ein Phasenverschiebungsabschnitt bereitgestellt wird, der dazu geeignet ist, transmittiertem Belichtungslicht eine vorgegebene Phasendifferenz zu verleihen, wobei der Phasenverschiebungsabschnitt eine Phasenverschiebungsschicht ist, die dazu geeignet ist, dem transmittierten Belichtungslicht eine vorgegebene Phasenänderung zu verleihen, wobei der Fotomaskenrohling aufweist:

eine auf einer Oberfläche der Phasenverschiebungsschicht angeordnete Ätzmaskenschicht, die aus einem Material hergestellt ist, das durch ein Gas auf Chlorbasis trockenätzbar ist, aber durch ein Gas auf Fluorbasis nicht trockenätzbar ist, und mindestens bis zu dem Zeitpunkt als eine Ätzmaske dient, zu dem durch Trockenätzen ein Übertragungsmuster in der Phasenverschiebungsschicht ausgebildet ist, und eine auf einer Oberfläche der Ätzmaskenschicht ausgebildete lichtabschirmende Schicht, die aus einem Material hergestellt ist, die hauptsächlich Tantal enthält, und eine derartige Dicke hat, dass sie während des Trockenätzens zum Ausbilden des Übertragungsmusters in der Phasenverschiebungsschicht entfernbar ist.

**[0050]** Gemäß diesem Aspekt wird die lichtabschirmende Schicht, die aus dem Material hergestellt ist, das hauptsächlich Tantal aufweist, und eine Dicke hat, gemäß der sie während des Trockenätzens zum Ausbilden des Übertragungsmusters in der Phasenverschiebungsschicht entfernbar ist, während des Trockenätzens zum Ausbilden des Übertragungsmusters in der Phasenverschiebungsschicht entfernt. Dadurch können die Fertigungsprozesse vereinfacht werden.

**[0051]** Außerdem kann unter Verwendung der lichtabschirmenden Schicht auf Tantalbasis eine Dickenverminderung eines darauf auszubildenden Resists erzielt werden, was für eine Feinmusterbildung notwendig ist.

**[0052]** Außerdem kann durch die Verwendung der lichtabschirmenden Schicht auf Tantalbasis von diesem Fotomaskenrohling eine Fotomaske von hergestellt werden, die bezüglich einer chemischen Reinigung und einer Reinigung mit heißem Wasser hochgradig beständig ist.

**[0053]** [Fig. 2](#) zeigt ein Beispiel einer zweiten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Fotomaskenrohlings.

**[0054]** Der in [Fig. 2](#) dargestellte Fotomaskenrohling wird zum Herstellen einer Phasenverschiebungsmaske eines Typs bereitgestellt, gemäß dem ein Substrat grundsätzlich nicht abgetragen und eine Phasenverschiebungsabschnitt durch eine Halbton-Phasenverschiebungsschicht ausgebildet wird.

**[0055]** Dieser Fotomaskenrohling weist eine Halbton-Phasenverschiebungsschicht **30**, eine Ätzmaskenschicht **10**, eine lichtabschirmende Schicht **20** auf Ta-Basis, die aus einer lichtabschirmenden Lage **21** auf Ta-Basis und einer Antireflexionslage **22** auf Ta-Basis besteht, und eine Resistschicht **50** auf, die nacheinander auf einer Oberfläche eines transparenten Substrats **1** ausgebildet sind.

**[0056]** [Fig. 6](#) zeigt ein Beispiel einer derartigen Phasenverschiebungsmaske. Wie in [Fig. 6](#) dargestellt ist, weist eine derartige Phasenverschiebungsmaske ein Halbton-Phasenverschiebungsschichtmuster **30a** auf einem Substrat **1** auf.



**[0057]** Nachstehend wird ein Beispiel einer dritten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Fotomaskenrohrlings unter Bezug auf [Fig. 2](#) beschrieben, die zum Beschreiben der zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet wurde.

**[0058]** Die dritte Ausführungsform des Fotomaskenrohrlings wird zum Herstellen einer Phasenverschiebungsmaske des Typs verwendet, gemäß dem ein Phasenverschiebungsabschnitt mit hohem Lichtdurchlassgrad durch Bereitstellen einer Halbton-Phasenverschiebungsschicht und außerdem durch Abtragen eines Substrats ausgebildet wird.

**[0059]** Dieser Fotomaskenrohrling weist eine Halbton-Phasenverschiebungsschicht **30**, eine Ätzmaskenschicht **10**, eine lichtabschirmende Schicht **20** auf Ta-Basis, die aus einer lichtabschirmenden Lage **21** auf Ta-Basis und eine Antireflexionslage **22** auf Ta-Basis besteht, und eine Resistschicht **50** auf, die nacheinander auf der Oberfläche eines transparenten Substrats **1** ausgebildet sind.

**[0060]** [Fig. 8J](#) zeigt ein Beispiel einer derartigen Phasenverschiebungsmaske. Wie in [Fig. 8J](#) dargestellt ist, weist dieser Typ einer Phasenverschiebungsmaske einen Phasenverschiebungsabschnitt auf, der durch Ausbilden eines dünnen Halbton-Phasenverschiebungsschichtmusters **30a** auf einem Abtragsabschnitt **1a** eines Substrats konfiguriert ist. Im Fall der einlagigen Phasenverschiebungsschicht der zweiten Ausführungsform ist eine ziemlich große Dicke erforderlich, um eine vorgegebene Phasendifferenz (Phasenverschiebung) für Belichtungslicht zu erhalten und gleichzeitig den Lichtdurchlassgrad für das Belichtungslicht auf einen vorgegebenen Wert einzustellen. Hinsichtlich dieser Betrachtungen wird durch die dritte Ausführungsform des Fotomaskenrohrlings durch Vermindern der Dicke der einlagigen Phasenverschiebungsschicht ein hoher Lichtdurchlassgrad für Belichtungslicht realisiert, und außerdem wird eine vorgegebene Phasendifferenz für das Belichtungslicht erhalten, indem der Abtragsabschnitt **1a** an einem freiliegenden Substratabschnitt, wo das Halbton-Phasenverschiebungsschichtmuster **30a** nicht ausgebildet ist, mit einer Dicke bereitgestellt wird, die einer Phasenverschiebung entspricht, die durch Reduzieren der Schichtdicke vermindert ist.

**[0061]** [Fig. 3](#) zeigt ein Beispiel einer vierten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Fotomaskenrohrlings.

**[0062]** Der in [Fig. 3](#) dargestellte Fotomaskenrohrling wird zum Herstellen einer Phasenverschiebungsmaske des Typs verwendet, gemäß dem ein Substrat nicht abgetragen wird und ein Phasenverschiebungsabschnitt mit hohem Lichtdurchlassgrad durch Bereitstellen einer Halbton-Phasenverschiebungsschicht mit hohem Lichtdurchlassgrad ausgebildet wird. Um einen hohen Lichtdurchlassgrad zu erhalten, weist die Halbton-Phasenverschiebungsschicht zwei Lagen auf, d. h. eine Phasensteuerungslage und eine Lichtdurchlassgradsteuerungslage.

**[0063]** Der Fotomaskenrohrling weist eine Halbton-Phasenverschiebungsschicht **30**, die aus einer Phasensteuerungslage **32** und einer Lichtdurchlassgradsteuerungslage **31** besteht, eine Ätzmaskenschicht **10**, eine lichtabschirmende Schicht **20** auf Ta-Basis, die aus einer lichtabschirmenden Lage **21** auf Ta-Basis und einer Antireflexionslage **22** auf Ta-Basis besteht, und eine Resistschicht **50** auf, die nacheinander auf einer Oberfläche eines transparenten Substrats **1** ausgebildet sind.

**[0064]** [Fig. 9K](#) zeigt ein Beispiel einer derartigen Phasenverschiebungsmaske. Wie in [Fig. 9K](#) dargestellt ist, weist eine derartige Phasenverschiebungsmaske auf einem Substrat **1** ein Muster **30a** einer Halbton-Phasenverschiebungsschicht **30** auf, die aus einer Phasensteuerungsschicht **32** und einer Lichtdurchlassgradsteuerungslage **31** besteht.

**[0065]** In der vorliegenden Erfindung kann als Material, das hauptsächlich Tantal enthält, ein Material auf Tantalbasis verwendet werden, wie beispielsweise elementares Tantal oder ein Material, das Tantal und mindestens ein Element, wie beispielsweise Sauerstoff, Stickstoff, Kohlenstoff, Wasserstoff, Bor und Silizium, enthält (tantalhaltiges Material).

**[0066]** In der vorliegenden Erfindung wird als Schichtstruktur der lichtabschirmenden Schicht, die aus einem Material hergestellt ist, das hauptsächlich Tantal enthält, oft eine mehrlagige Struktur verwendet, die aus den vorstehend erwähnten Schichtmaterialien besteht, alternativ kann jedoch auch eine einlagige Struktur verwendet werden. Im Fall einer mehrlagigen Struktur kann eine mehrlagige Struktur mit Lagen aus stufenweise verschiedenen Zusammensetzungen oder eine Schichtstruktur mit einer sich kontinuierlich ändernden Zusammensetzung verwendet werden.



**[0067]** In der vorliegenden Erfindung muss die Ätzmaskenschicht aus einem Material hergestellt sein, das durch das Gas auf Chlorbasis (einschließlich eines Mischgases aus einem Gas auf Chlorbasis und einem Sauerstoffgas) trockenätzbar ist, aber durch ein Gas auf Fluorbasis nicht trockenätzbar ist, und mindestens bis zu einem Zeitpunkt als eine Ätzmaske dient, zu dem das Übertragungsmuster durch Trockenätzen unter Verwendung des Gases auf Fluorbasis in der Phasenverschiebungsschicht ausgebildet ist. Als eine derartige Ätzmaskenschicht kommt eine Schicht in Betracht, die aus Chrom, Hafnium, Zirkon, einer Legierung, die ein derartiges Element enthält, oder einem Material besteht, das ein derartiges Element oder eine derartige Legierung enthält (z. B. ein Material, das ein derartiges Element oder eine derartige Legierung und mindestens eines der Elemente Sauerstoff, Stickstoff, Silizium und Kohlenstoff enthält).

**[0068]** Andererseits kann als Material der Ätzmaskenschicht ein Material auf Chrombasis, ein Material auf Hafniumbasis oder ein Material auf Zirkonbasis verwendet werden, das durch das Gas auf Chlorbasis (einschließlich eines Mischgases aus einem Gas auf Chlorbasis und einem Sauerstoffgas) ätzbar ist und mindestens ein Element wie beispielsweise Molybdän, Titan, Vanadium und Silizium zum Einstellen der Feinstruktur und der Haltbarkeit enthält.

**[0069]** In der vorliegenden Erfindung ist es bevorzugt, wenn die Ätzmaskenschicht durch Trockenätzen oder Nassätzen entfernbare ist, ohne dass das Substrat und andere Lagen oder Schichten beschädigt werden.

**[0070]** In der vorliegenden Erfindung beträgt die Ätzselektivität der Ätzmaskenschicht bezüglich des Substrats oder einer anderen Lage oder Schicht (Ätzrate der Ätzmaskenschicht/Ätzrate des Substrats oder einer anderen Lage oder Schicht) vorzugsweise 1/5 oder weniger.

**[0071]** In der vorliegenden Erfindung besteht die Phasenverschiebungsschicht vorzugsweise aus einem Material, das durch das Gas auf Fluorbasis wesentlich trockenätzbar ist, aber durch das Gas auf Chlorbasis im Wesentlichen nicht trockenätzbar ist.

**[0072]** In der vorliegenden Erfindung kann als Phasenverschiebungsschicht beispielsweise eine siliziumhaltige (Silizium enthaltende) Schicht verwendet werden. Als die siliziumhaltige Schicht kommt eine Siliziumschicht, eine Metallsilizidschicht, die Silizium und ein Metall enthält, wie beispielsweise Chrom, Tantal, Molybdän, Titan, Hafnium oder Wolfram, oder eine Schicht in Betracht, die mindestens eines der Elemente Sauerstoff, Stickstoff und Kohlenstoff in einer Siliziumschicht oder einer Metallsilizidschicht enthält.

**[0073]** In der vorliegenden Erfindung kann als Phasenverschiebungsschicht beispielsweise eine Schicht verwendet werden, die hauptsächlich ein Übergangsmetall-Silizidoxid, ein Übergangsmetall-Silizidnitrid, ein Übergangsmetall-Silizidoxynitrid, ein Übergangsmetall-Silizidoxycarbonitrid, ein Übergangsmetall-Silizidnitridcarbid oder ein Übergangsmetall-Silizidoxycarbonitrid enthält. Als Phasenverschiebungsschicht kann beispielsweise eine Halbtionschicht, wie beispielsweise eine Schicht auf Molybdänbasis (MoSiON, MoSiN, MoSiO, usw.), eine Schicht auf Wolframbasis (WSiON, WSiN, WSiO, usw.) oder eine Schicht auf Siliziumbasis (SiN, SiON, usw.) verwendet werden.

**[0074]** In der vorliegenden Erfindung kann als Phasenverschiebungsschicht beispielsweise eine Halbtionschicht verwendet werden, die aus zwei Lagen besteht, d. h. aus einer Phasensteuerungslage im Wesentlichen zum Steuern der Phase von Belichtungslicht und einer Lichtdurchlassgradsteuerungslage im Wesentlichen zum Steuern des Lichtdurchlassgrades für Belichtungslicht.

**[0075]** In der vorliegenden Erfindung kann als Phasenverschiebungsschicht beispielsweise eine Halbtionschicht verwendet werden, die aus zwei Lagen besteht, d. h. aus einer Phasensteuerungslage, die im Wesentlichen zum Steuern der Phase von Belichtungslicht dient, und einer Lichtdurchlassgradsteuerungslage, die im Wesentlichen zum Steuern des Lichtdurchlassgrades von Belichtungslicht dient (vergl. JP-A-2003-322947). Hierbei kann als Material für die Lichtdurchlassgradsteuerungslage ein Material verwendet werden, das eines oder mehrere der Komponenten aufweist, die aus Metallen und Silizium oder einem Oxid, Nitrid, Oxynitrid, Carbid, usw. davon ausgewählt werden. Insbesondere kommt ein Material in Betracht, das eines oder mehrere Komponenten aufweist, die aus Aluminium, Titan, Vanadium, Chrom, Zirkon, Niobium, Molybdän, Lanthan, Tantal, Wolfram, Silizium und Hafnium oder einem Oxid, Nitrid, Oxynitrid, Carbid, usw. davon ausgewählt werden. Als die Phasensteuerungslage wird vorzugsweise eine dünne Schicht auf Siliziumbasis verwendet, die aus Siliziumoxid, Siliziumnitrid, Siliziumoxynitrid, usw. besteht, weil ein relativ hoher Lichtdurchlassgrad für Belichtungslicht im Ultraviolettbereich relativ einfach erhalten werden kann.

**[0076]** Gemäß einem dritten Aspekt der vorliegenden Erfindung weist die lichtabschirmende Schicht vorzugs-

weise auf:

eine lichtabschirmende Lage, die hauptsächlich Tantalnitrid enthält; und

eine auf einer oberen Fläche der lichtabschirmenden Lage aufgebrachte Antireflexionslage, die hauptsächlich Tantaloxid enthält.

**[0077]** Gemäß diesem Aspekt kann die lichtabschirmende Schicht auf Tantalbasis gebildet werden durch die lichtabschirmende Lage auf TaN-Basis, die aus einem Material besteht, das durch ein Gas auf Chlorbasis trockenätzbar ist, das keinen Sauerstoff enthält (einschließlich eines Gases auf Chlorbasis, das im Wesentlichen keinen Sauerstoff enthält, d. h. eines Gases auf Chlorbasis, das Sauerstoff in einer Menge enthält, gemäß der eine Resistschicht oder eine ähnliche Schicht während des Trockenätzens nicht beeinflusst wird), und die auf der oberen Fläche der lichtabschirmenden Lage auf TaN-Basis ausgebildete vorderseitige Antireflexionslage auf TaO-Basis, die aus einem Material hergestellt ist, das durch ein Gas auf Chlorbasis nicht trockenätzbar, aber durch ein Gas auf Fluorbasis trockenätzbar ist. Beim Trockenätzen der lichtabschirmenden Schicht auf Ta-Basis durch das Gas auf Fluorbasis unter Verwendung eines auf der damit in Kontakt stehenden Antireflexionslage auf TaO-Basis ausgebildeten Resistmusters als eine Maske ist es ausreichend, lediglich die dünne Antireflexionslage auf TaO-Basis zu ätzen, so dass die Resistschichtdicke im Vergleich zu dem Fall vermindert werden kann, in dem die gesamte lichtabschirmende Schicht auf Tantalbasis (lichtabschirmende Lage auf TaN-Basis/Antireflexionslage auf TaO-Basis) unter Verwendung eines Gases auf Fluorbasis trockenengeätzt wird, so dass eine Verbesserung der Verarbeitungsgenauigkeit der Antireflexionslage auf TaO-Basis erzielt werden kann.

**[0078]** Außerdem wird, wenn die lichtabschirmende Lage auf TaN-Basis durch das Gas auf Chlorbasis trockenengeätzt wird, das im Wesentlichen keinen Sauerstoff enthält, wobei ein Antireflexionslagenmuster auf TaO-Basis als Maske verwendet wird, das Antireflexionslagenmuster auf TaO-Basis durch das Gas auf Chlorbasis nicht trockenengeätzt, d. h., es dient geeignet als eine Ätzmaske. Daher kann die Verarbeitungsgenauigkeit der lichtabschirmenden Lage auf TaN-Basis verbessert werden.

**[0079]** Außerdem dient ein Muster der lichtabschirmenden Schicht auf Tantalbasis (lichtabschirmende Lage auf TaN-Basis/Antireflexionslage auf TaO-Basis) geeignet als Ätzmaske, wenn die Ätzmaskenschicht (z. B. eine dünne Lage auf Cr-Basis), die unter der damit in Kontakt stehenden lichtabschirmenden Schicht auf Tantalbasis ausgebildet ist, unter Verwendung eines Gases auf Chlorbasis (z. B.  $\text{Cl}_2 + \text{O}_2$ ) geätzt wird. Dadurch kann eine Verbesserung der Verarbeitungsgenauigkeit der Ätzmaskenschicht (z. B. der dünnen Lage auf Cr-Basis) erzielt werden.

**[0080]** Hinsichtlich des vorstehenden Sachverhalts können durch die vorliegende Erfindung Verfahren zum Herstellen eines Fotomaskenrohlings und einer Fotomaske bereitgestellt werden, die dadurch gekennzeichnet sind, dass sowohl eine lichtabschirmende Hauptlage als auch eine darauf ausgebildete Antireflexionslage als Ätzmaskenlagen für eine darunterliegende Lage dienen, d. h. dadurch gekennzeichnet, dass sie eine lichtabschirmende Schicht mit einer Struktur (Konfiguration) haben, gemäß der zwei oder mehr Ätzmaskenlagen stapelförmig angeordnet sind.

**[0081]** Hinsichtlich des vorstehenden Sachverhalts können durch die vorliegende Erfindung Verfahren zum Herstellen eines Fotomaskenrohlings und einer Fotomaske bereitgestellt werden, die dadurch gekennzeichnet sind, dass drei Lagen, d. h. eine Ätzmaskenschicht, eine darauf ausgebildete lichtabschirmende Hauptschicht und eine darauf ausgebildete Antireflexionslage, alle als Ätzmaskenlagen für eine darunter liegende Schicht oder Lage dienen, d. h. dadurch gekennzeichnet, dass sie eine Verarbeitungs- und lichtabschirmende Schicht mit einer Struktur (Konfiguration) aufweisen, gemäß der drei oder mehr Ätzmaskenlagen stapelförmig angeordnet sind.

**[0082]** Außerdem kann gemäß einer dritten Konfiguration basierend auf dem vorstehend erwähnten Sachverhalt durch Ausbilden der Antireflexionslage als eine Ta-Oxidlage die Beständigkeit bezüglich heißem Wasser und Alkali verbessert werden, was ansonsten mit einer Antireflexionsschicht aus MoSiON oder einer ähnlichen Schicht zu einem Problem führt.

**[0083]** Außerdem kann gemäß der dritten Konfiguration durch Bereitstellen der lichtabschirmenden Lage auf Ta-Basis, die eine Metallschicht ist, die Leitfähigkeit gewährleistet werden, gemäß der eine Aufladung während eines Elektronenstrahlithografieprozesses verhindert wird, der bezüglich eines mit der Antireflexionslage in Kontakt stehenden Elektronenstrahlresists ausgeführt wird.

**[0084]** Erfindungsgemäß beträgt der Flächenwiderstand des Substrats, auf dem die Antireflexionslage aus-

gebildet ist, vorzugsweise 500  $\Omega/\square$  oder weniger.

**[0085]** Gemäß einem vierten Aspekt der vorliegenden Erfindung beträgt die Dicke der lichtabschirmenden Schicht vorzugsweise 15 nm bis 50 nm.

**[0086]** Der obere Grenzwert wird dahingehend festgelegt, dass eine Schichtdicke bereitgestellt wird, gemäß der die lichtabschirmende Schicht auf Tantalbasis (z. B. lichtabschirmende Lage auf TaN-Basis/Antireflexionslage auf TaO-Basis) während des Trockenätzens unter Verwendung des Gases auf Fluorbasis zum Ausbilden des Phasenverschiebungsmusters entfernt wird.

**[0087]** Der untere Grenzwert wird dahingehend festgelegt, dass eine geeignete optische Dichte und die Funktion als Aufladungsunterdrückungslage gewährleistet werden.

**[0088]** Gemäß dem fünften Aspekt der vorliegenden Erfindung besteht die Ätzmaskenschicht vorzugsweise aus einem Material, das hauptsächlich eine der Komponenten Chrom, Chromnitrid, Chromoxid, Chromoxynitrid und Chromoxycarbonitrid aufweist.

**[0089]** Gemäß diesem Aspekt kann die Dicke der Ätzmaskenschicht vermindert werden. Außerdem weist sie eine ausgezeichnete Verarbeitungsgenauigkeit auf. Darüber hinaus ist die Ätzselektivität der Ätzmaskenschicht bezüglich der damit in Kontakt ausgebildeten oberen und unteren Lage hoch, so dass die unnötig gewordene Ätzmaskenschicht entfernt werden kann, ohne das Substrat und andere Lagen oder Schichten beschädigt werden.

**[0090]** In der vorliegenden Erfindung kann als Ätzmaskenschicht ein Material auf Chrombasis verwendet werden, beispielsweise elementares Chrom oder ein Material, das Chrom und mindestens ein Element wie beispielsweise Sauerstoff, Stickstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff enthält (Cr-haltiges Material).

**[0091]** Als Schichtstruktur der Ätzmaskenschicht wird häufig eine einlagige Struktur verwendet, die aus dem vorstehend erwähnten Schichtmaterial hergestellt ist, alternativ kann jedoch eine mehrlagige Struktur verwendet werden. Im Fall einer mehrlagigen Struktur kann eine mehrlagige Struktur mit Lagen mit stufenweise verschiedenen Zusammensetzungen oder eine Schichtstruktur mit einer sich kontinuierlich ändernden Zusammensetzung verwendet werden.

**[0092]** Unter den Materialien der Ätzmaskenschicht ist Chromoxycarbonitrid (CrOCN) hinsichtlich der Steuerbarkeit der Schichtspannung bevorzugt (d. h., es kann eine spannungsarme Schicht hergestellt werden).

**[0093]** Gemäß einem sechsten Aspekt der vorliegenden Erfindung weist die Ätzmaskenschicht vorzugsweise eine Dicke von 5 nm bis 40 nm auf.

**[0094]** Gemäß diesem Aspekt weist die Ätzmaskenschicht eine ausgezeichnete Verarbeitungsgenauigkeit auf und dient als Ätzmaske für die Phasenverschiebungsschicht.

**[0095]** Gemäß einem siebenten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird die Phasenverschiebungsschicht vorzugsweise aus einem Material hergestellt, das hauptsächlich eine der Komponenten Molybdänsilizid, Molybdänsilizidnitrid, Molybdänsilizidoxid und Molybdänsilizidoxynitrid aufweist.

**[0096]** Gemäß dieser Konfiguration wird eine Halbton-Phasenverschiebungsmaske mit einem Lichtdurchlassgrad von beispielsweise 3% bis 20% für ArF-Belichtungslicht erhalten.

**[0097]** Gemäß einem achten Aspekt der vorliegenden Erfindung weist die Phasenverschiebungsschicht vorzugsweise eine Phasensteuerungslage, die aus einem Material besteht, das hauptsächlich Siliziumoxid oder Siliziumoxynitrid enthält, und eine Lichtdurchlassgradsteuerungslage auf, die aus einem Material besteht, das hauptsächlich Tantal oder eine Tantal-Hafnium-Legierung enthält.

**[0098]** Gemäß dieser Konfiguration kann eine Halbton-Phasenverschiebungsmaske mit hohem Lichtdurchlassgrad erhalten werden, die beispielsweise einen Lichtdurchlassgrad von 20% oder mehr für ArF-Belichtungslicht hat, ohne dass ein Substrat abgetragen werden muss.

**[0099]** Gemäß einem neunten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Fotomaske unter Verwendung eines Fotomaskenrohlings gemäß einem der vorstehenden Aspekte hergestellt.

**[0100]** Gemäß diesem Aspekt wird eine Fotomaske erhalten, die die gleiche Funktionsweise und die gleiche Wirkung hat wie die Fotomaskenrohlinge gemäß den vorstehend beschriebenen ersten bis achten Aspekten.

**[0101]** Erfindungsgemäß wird ein Fotomaskenherstellungsverfahren bereitgestellt, mit den Schritten:  
Trockenätzen der lichtabschirmenden Schicht unter Verwendung eines Resistschichtmusters als Maske, um ein lichtabschirmendes Schichtmuster auszubilden;  
Trockenätzen der Ätzmaskenschicht unter Verwendung des lichtabschirmenden Schichtmusters als Maske, um ein Ätzmaskenschichtmuster auszubilden; und  
Trockenätzen des lichtdurchlässigen Substrats unter Verwendung des Ätzmaskenschichtmusters als Maske, um einen Abtragungsabschnitt auszubilden, der bezüglich einer Oberfläche des lichtdurchlässigen Substrats bis zu einer Abtragungstiefe abgetragen wird, die dazu geeignet ist, eine vorgegebene Phasendifferenz zu erzeugen.

**[0102]** Gemäß diesem Verfahren wird eine Fotomaske, die die gleiche Funktionsweise und die gleiche Wirkung hat wie die Fotomaskenrohlinge gemäß den vorstehend beschriebenen ersten bis achten Aspekten, mit einer hohen Fertigungsprozesseffizienz erhalten.

**[0103]** Erfindungsgemäß wird ein anderes Fotomaskenherstellungsverfahren bereitgestellt, mit den Schritten:  
Trockenätzen der lichtabschirmenden Schicht unter Verwendung eines Resistschichtmusters als Maske, um ein lichtabschirmendes Schichtmuster auszubilden;  
Trockenätzen der Ätzmaskenschicht unter Verwendung des lichtabschirmenden Schichtmusters als Maske, um ein Ätzmaskenschichtmuster auszubilden; und  
Trockenätzen der Phasenverschiebungsschicht unter Verwendung des Ätzmaskenschichtmusters als Maske, um ein Phasenverschiebungsschichtmuster auszubilden.

**[0104]** Gemäß diesem Verfahren wird eine Fotomaske, die die gleiche Funktionsweise und die gleiche Wirkung hat wie die Fotomaskenrohlinge gemäß den vorstehend beschriebenen ersten bis achten Aspekten, mit einer hohen Fertigungsprozesseffizienz erhalten.

**[0105]** Erfindungsgemäß ist es zum Trockenätzen einer dünnen Schicht auf Chrombasis bevorzugt, ein Trockenätzgas in der Form eines Mischgases zu verwenden, das ein Gas auf Chlorbasis und ein Sauerstoffgas enthält. Dies ist der Fall, weil, wenn eine dünne Schicht auf Chrombasis, die aus einem Material besteht, das Chrom und ein Element enthält, wie beispielsweise Sauerstoff oder Stickstoff, unter Verwendung des vorstehend erwähnten Trockenätzgases trockenengeätzt wird, die Trockenätzrate erhöht und damit die Trockenätzzeit verkürzt werden kann, so dass ein Ätzmaskenschichtmuster mit einer ausgezeichneten Querschnittsform ausgebildet werden kann. Als für den Trockenätzprozess verwendetes Gas auf Chlorbasis kommt beispielsweise  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{SiCl}_4$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{CCl}_4$  und  $\text{CHCl}_3$ , usw. in Betracht.

**[0106]** In der vorliegenden Erfindung kann zum Trockenätzen eines Substrats zum Ausbilden eines Abtragungsabschnitts oder zum Trockenätzen einer siliziumhaltigen Schicht oder einer dünnen Schicht auf einer Metallsilizidbasis beispielsweise ein Gas auf Fluorbasis, wie beispielsweise  $\text{SF}_6$ ,  $\text{CF}_4$ ,  $\text{C}_2\text{F}_6$  oder  $\text{CHF}_3$ , ein Mischgas aus einem derartigen Gas auf Fluorbasis und  $\text{He}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{Ar}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{O}_2$  oder einem ähnlichen Gas, ein Gas auf Chlorbasis, wie beispielsweise  $\text{Cl}_2$  oder  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  oder ein Mischgas aus einem derartigen Gas auf Chlorbasis und  $\text{He}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{Ar}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$  oder einem ähnlichen Gas verwendet werden.

**[0107]** In der vorliegenden Erfindung ist das Resist vorzugsweise ein chemisch verstärktes Resist. Dies ist der Fall, weil dieses für eine hochgradig genaue Verarbeitung geeignet ist.

**[0108]** Die vorliegende Erfindung wird auf Fotomaskenrohlinge der Generation angewendet, die eine Resistschichtdicke von 200 nm oder weniger oder sogar eine Resistschichtdicke von 150 nm anstreben.

**[0109]** In der vorliegenden Erfindung ist das Resistmaterial vorzugsweise ein Resistmaterial für Elektronenstrahlolithografie. Dies ist der Fall, weil es für eine hochgradig genaue Verarbeitung geeignet ist.

**[0110]** Die vorliegende Erfindung wird auf einen Fotomaskenrohling für Elektronenstrahlolithografie angewendet, wobei ein Resistmuster durch Elektronenstrahlolithografie ausgebildet wird.

**[0111]** Erfindungsgemäß kommt als Substrat ein synthetisches Quarzsubstrat, ein  $\text{CaF}_2$ -Substrat, ein Soda-Kalk-Glassubstrat, ein alkalifreies Glassubstrat, ein Glassubstrat mit geringer Wärmeausdehnung, ein Alu-

minosilikatglassubstrat, usw. in Betracht.

**[0112]** Erfindungsgemäß weisen Fotomaskenrohlinge die vorstehend erwähnten verschiedenen Phasenverschiebungsmaskenrohlinge und resistbeschichtete Maskenrohlinge auf.

**[0113]** Erfindungsgemäß weisen Fotomasken die vorstehend erwähnten verschiedenen Phasenverschiebungsmasken auf. Die Fotomasken weisen ein Retikel auf. Die Phasenverschiebungsmasken weisen eine Phasenverschiebungsmaske auf, in der ein Phasenverschiebungsabschnitt durch Abtragen eines Substrats ausgebildet wird.

**[0114]** Nachstehend werden Beispiele der vorliegenden Erfindung und Vergleichsbeispiele dargestellt. In jedem Beispiel wurden Schichten, wie beispielsweise eine lichtabschirmende Schicht, eine Ätzmaskenschicht und eine Phasenverschiebungsschicht, durch ein Sputterverfahren als Schichtausbildungsverfahren unter Verwendung einer DC-Magnetron-Sputtervorrichtung ausgebildet. Die vorliegende Erfindung ist jedoch nicht spezifisch auf dieses Schichtausbildungsverfahren und diese Schichtausbildungsvorrichtung beschränkt, sondern es kann eine andersartige Sputtervorrichtung, beispielsweise eine HF-Magnetron-Sputtervorrichtung, verwendet werden.

#### Beispiel 1

**[0115]** Beispiel 1 betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines Fotomaskenrohlings zum Herstellen einer Phasenverschiebungsmaske mit einem Phasenverschiebungsabschnitt, der durch Ausbilden eines Abtragungsabschnitts auf einem Substrat konfiguriert ist, und betrifft ferner ein Verfahren zum Herstellen einer Fotomaske.

#### [Herstellung eines Fotomaskenrohlings]

**[0116]** Nachstehend werden unter Bezug auf die [Fig. 4A](#) bis [Fig. 4I](#) Verfahren zum Herstellen eines Fotomaskenrohlings und einer Fotomaske gemäß Beispiel 1 der vorliegenden Erfindung beschrieben.

**[0117]** Zunächst wurde ein aus Quarz hergestelltes Substrat hochglanzpoliert und dann gereinigt, um ein lichtdurchlässiges Substrat **1** der Größe 152 mm × 152 mm × 6,35 mm (6 Zoll × 6 Zoll × 0,25 Zoll) zu erhalten ([Fig. 4A](#)).

**[0118]** Dann wurde unter Verwendung einer DC-Magnetron-Sputtervorrichtung eine Ätzmaskenschicht **10** auf dem lichtdurchlässigen Substrat **1** ausgebildet ([Fig. 4A](#)). Insbesondere wurde unter Verwendung eines Chromtargets eine CrOCN-Schicht in einer Dicke von 20 nm unter den folgenden Bedingungen ausgebildet: eingeleitete Gase und Durchflussraten:

Ar: 18 sccm,  
CO<sub>2</sub>: 18 sccm,  
N<sub>2</sub>: 10 sccm,  
Sputterleistung: 1,7 kW.

**[0119]** In diesem Fall wurde die Schichtspannung der CrOCN-Schicht auf einen kleinstmöglichen Wert eingestellt (vorzugsweise im Wesentlichen null).

**[0120]** Dann wurde das Substrat **1**, auf dem die Ätzmaskenschicht **10** ausgebildet war, in eine DC-Magnetron-Sputtervorrichtung eingebracht. Nachdem der Innenraum der Sputtervorrichtung auf einen Druck von  $2 \times 10^{-5}$  Pa oder weniger evakuiert war, wurde ein Mischgas aus Xe und N<sub>2</sub> in die Sputtervorrichtung eingeleitet. In diesem Fall wurden die Durchflussrate von Xe und die Durchflussrate von N<sub>2</sub> auf 12,7 sccm bzw. 10 sccm eingestellt. Als Sputtertarget wurde Ta verwendet. Nachdem sich die Gasdurchflussraten stabilisiert hatten, wurde die Leistung einer DC-Leistungsversorgung auf 1,5 kW eingestellt, wodurch eine Ta-Nitrid(TaN)lage **21** mit einer Dicke von 24 nm auf der Ätzmaskenschicht **10** ausgebildet wurde (vergl. [Fig. 4A](#)).

**[0121]** Dann wurde, während das Substrat **1**, auf dem die Ta-Nitrid(TaN)lage **21** ausgebildet war, in der Sputtervorrichtung verblieb, ein Mischgas, das ein Ar-Gas mit einer Durchflussrate von 90 sccm und ein O<sub>2</sub>-Gas mit einer Durchflussrate von 34,7 sccm enthielt, in die Sputtervorrichtung eingeleitet, woraufhin die Leistung der DC-Leistungsversorgung auf 0,7 kW eingestellt wurde, um eine Tantaloxid(TaO)lage **22** mit einer Dicke von 10 nm auf die Tantalnitrid(TaN)lage **21** aufzubringen (vergl. [Fig. 4A](#)).

**[0122]** Auf die vorstehend beschriebene Weise wurde eine lichtabschirmende Schicht **20** auf Tantalbasis aus-

gebildet, die die Tantalnitrid(TaN)lage **21** und die Tantaloxid(TaO)lage **21** enthält, die stapelförmig aufeinander ausgebildet sind.

**[0123]** Das Reflexionsvermögen (vorderseitige Reflexionsvermögen) einer vom Substrat **1** abgewandten Oberfläche der derart ausgebildeten lichtabschirmenden Schicht **20** betrug für ArF-Belichtungslicht (Wellenlänge 193 nm) 25,7%. Außerdem betrug der Lichtdurchlassgrad für ArF-Belichtungslicht 0,1%. Es wurde eine AES-(Augerelektronenspektroskopie)Analyse ausgeführt, wobei sich ergab, dass der N-Anteil der Tantalnitrid(TaN)lage **21** 23 Atom-% und der O-Anteil der Tantaloxid(TaO)lage **22** 65 Atom-% betrugen.

**[0124]** Der Flächenwiderstand, der für die Probe in der Stufe gemessen wurde, in der die Tantaloxid(TaO)lage **22** ausgebildet war, betrug 85  $\Omega$ .

[Herstellung einer Fotomaske]

**[0125]** Wie in [Fig. 4A](#) dargestellt ist, wurde unter Verwendung eines derart hergestellten Fotomaskenrohlings ein chemisch verstärktes Resist **50** für Elektronenstrahlithografie (einen Belichtungsprozess) (FEP171, hergestellt von FUJIFILM Electronic Materials Co., Ltd.) durch ein Rotationsbeschichtungsverfahren (Spin Coating) in einer Dicke von 150 nm auf der Tantaloxid(TaO)lage **22** aufgebracht.

**[0126]** Dann wurde unter Verwendung einer Elektronenstrahlithografievorrichtung ein Musterschreibvorgang bezüglich der Resistschicht **50** ausgeführt, und anschließend wurde unter Verwendung eines vorgegebenen Entwicklers ein Entwicklungsprozess ausgeführt, um ein Resistmuster **50a** auszubilden ([Fig. 4B](#)).

**[0127]** Dann wurde unter Verwendung des Resistmusters **50a** als Maske die Schicht **20** auf Tantalbasis mit den stapelförmig aufeinander angeordneten TaN- und TaO-Lagen trockengeätzt, um ein Schichtmuster **20a** auf Tantalbasis (Tantalnitrid(TaN)Lagenmuster **21a**/Tantaloxid(TaO)lagenmuster **22a**) auszubilden ([Fig. 4C](#)). In diesem Fall wurde  $\text{CHF}_3$  als Trockenätzgas verwendet.

**[0128]** Dann wurde unter Verwendung des Resistmusters **50a** und des Schichtmusters **20a** auf Tantalbasis als Maske die Ätzmaskenschicht **10** auf Chrombasis trockengeätzt, um ein Ätzmaskenschichtmuster **10a** auf Chrombasis auszubilden ([Fig. 4D](#)). In diesem Fall wurde als Trockenätzgas ein Mischgas aus  $\text{Cl}_2$  und  $\text{O}_2$  ( $\text{Cl}_2:\text{O}_2 = 4:1$ ) verwendet.

**[0129]** Dann wurde, wie in [Fig. 4E](#) dargestellt, das unnötig gewordene Resistmuster **50a** entfernt, woraufhin ein chemisch verstärktes positives Resist **51** für Elektronenstrahlithografie (einen Belichtungsprozess) (FEP171, hergestellt von FUJIFILM Electronic Materials Co., Ltd.) durch ein Rotationsbeschichtungsverfahren (Spin Coating) erneut in einer Dicke von 150 nm aufgebracht wurde.

**[0130]** Daraufhin wurde unter Verwendung der Elektronenstrahlithografievorrichtung ein Musterschreibvorgang bezüglich der Resistschicht **51** ausgeführt, woraufhin unter Verwendung eines vorgegebenen Entwicklers ein Entwicklungsprozess ausgeführt wurde, um ein Resistmuster **51a** auszubilden ([Fig. 4F](#)). Hierbei wurde das Resistmuster **51a** zum Ausbilden eines Lichtabschirmungsstreifens im Umfangsbereich des Substrats und zum Ausbilden eines großflächigen pflasterförmigen Musters eines lichtabschirmenden Abschnitts oder eines Zebarmusters zum Steuern des Lichtdurchlassgrades ausgebildet.

**[0131]** Dann wurde unter Verwendung des Ätzmaskenschichtmusters **10a** auf Chrombasis als Maske das lichtdurchlässige Substrat **1** durch ein  $\text{CHF}_3$ -Gas trockengeätzt, um ein Phasenverschiebungsmuster (Phasenverschiebungsabschnitt) des Substratabtragungstyps zu erhalten ([Fig. 4G](#)). In diesem Fall wurde das lichtdurchlässige Substrat **1** bis zu einer Tiefe (insbesondere bis zu einer Tiefe von 170 nm) geätzt, die dazu geeignet ist, eine Phasendifferenz von  $180^\circ$  für ArF-Belichtungslicht (193 nm) zu erhalten, wodurch ein Abtragsabschnitt **1a** auf dem lichtdurchlässigen Substrat **1** ausgebildet wird, um das Phasenverschiebungsmuster (Phasenverschiebungsabschnitt) bereitzustellen. Während dieses Trockenätzprozesses verschwand das Schichtmuster **20a** auf Tantalbasis (Tantalnitrid(TaN)lagenmuster **21a**/Tantaloxid(TaO)lagenmuster **22a**) durch das Trockenätzen allmählich, und bei Abschluss des Ätzvorgangs für das lichtdurchlässige Substrat **1** verschwand die TaO/TaN-Schicht an einem Abschnitt ohne Resistmuster **51a** vollständig ([Fig. 4G](#)). Dies ist der Fall, weil die Äztiefe von 170 nm des lichtdurchlässigen Substrats **1** bezüglich der Gesamtdicke von 34 nm der TaO/TaN-Schicht ausreichend groß ist, so dass die Ätzzeit ausreichend lang ist.

**[0132]** Dann wurde das Ätzmaskenschichtmuster **10a** an einem Abschnitt ohne Resistmuster **51a** durch Trockenätzen durch ein Mischgas aus  $\text{Cl}_2$  und  $\text{O}_2$  ( $\text{Cl}_2:\text{O}_2 = 4:1$ ) entfernt ([Fig. 4H](#)).

[0133] Daraufhin wurde das Resistmuster **51a** entfernt ([Fig. 4I](#)), woraufhin ein Reinigungsvorgang ausgeführt wurde, wodurch eine Fotomaske **100** erhalten wurde.

[Auswertung]

[0134] Die gemäß Beispiel 1 erhaltene Fotomaske wurde analysiert.

[0135] Dabei zeigte sich bezüglich der Auflösung des auf der Fotomaske ausgebildeten Phasenverschiebungsmusters (Phasenverschiebungsabschnitts) des Substratabtragungstyps, dass ein Phasenverschiebungsmuster von 50 nm auflösbar war.

[0136] Gleichzeitig betrug der Lichtdurchlassgrad für ArF-Belichtungslicht am lichtabschirmenden Abschnitt, der durch die Ätzmaskenschicht **10** auf Chrombasis und die Schicht **20** auf Tantalbasis gebildet wurde, die stapelförmig aufeinander angeordnet sind, 0,1%, und es konnte eine optische Dichte CD von 3,0 erhalten werden.

[0137] Im Herstellungsprozess für die Fotomaske von Beispiel 1 wurde das Resistmuster **50a** entfernt, nachdem das Ätzmaskenschichtmuster **10a** ausgebildet wurde (zwischen den Prozessen von [Fig. 4D](#) und Fig. E). Das Resistmuster **50a** kann jedoch entfernt werden, nachdem das Schichtmuster **20a** auf Tantalbasis ausgebildet wurde (zwischen den Prozessen von [Fig. 4C](#) und [Fig. 4D](#)). Außerdem wird die Verarbeitungsgenauigkeit weiter verbessert.

[0138] In der in [Fig. 4G](#) dargestellten Konfiguration von Beispiel 1 wird eine Fotomaske erhalten, die einer Fotomaske des Zebtratyps ähnlich ist, wobei das Phasenverschiebungsmuster des Substratabtragungstyps das aus einem lichtabschirmenden Material auf Chrombasis hergestellte Ätzmaskenschichtmuster **10a** aufweist. In diesem Fall ist die optische Dichte des aus dem lichtabschirmenden Material auf Chrombasis hergestellten Ätzmaskenschichtmusters **10a** jedoch kleiner als 3.

#### Beispiel 2

[0139] Beispiel 2 betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines Fotomaskenrohlings zum Herstellen einer Phasenverschiebungsmaske mit einem Phasenverschiebungsabschnitt, der durch Ausbilden eines Abtragungsabschnitts auf einem Substrat konfiguriert ist, und betrifft ferner ein Verfahren zum Herstellen einer Fotomaske. Beispiel 2 unterscheidet sich von Beispiel 1 hinsichtlich der Schichtausbildungsbedingungen einer Tantalnitrid(TaN)lage **21**, ihrer Dicke und eines zum Ätzen dieser Lage verwendeten Ätzgases.

[Verfahren zum Herstellen des Fotomaskenrohlings]

[0140] Nachstehend werden unter Bezug auf die [Fig. 5A](#) bis [Fig. 5J](#) erfindungsgemäße Verfahren zum Herstellen eines Fotomaskenrohlings und einer Fotomaske gemäß Beispiel 2 beschrieben.

[0141] Zunächst wurde ein aus Quarz hergestelltes Substrat hochglanzpoliert und dann gereinigt, um ein lichtdurchlässiges Substrat **1** der Größe 152 mm × 152 mm × 6,35 mm (6 Zoll × 6 Zoll × 0,25 Zoll) zu erhalten ([Fig. 5A](#)).

[0142] Dann wurde unter Verwendung einer DC-Magnetron-Sputtervorrichtung eine Ätzmaskenschicht **10** auf dem lichtdurchlässigen Substrat **1** ausgebildet ([Fig. 5A](#)). Insbesondere wurde unter Verwendung eines Chromtargets eine CrOCN-Schicht in einer Dicke von 20 nm unter den folgenden Bedingungen ausgebildet: eingeleitete Gase und Durchflussraten:

Ar: 18 sccm,  
CO<sub>2</sub>: 18 sccm,  
N<sub>2</sub>: 10 sccm,  
Sputterleistung: 1,7 kW.

[0143] In diesem Fall wurde die Schichtspannung der CrOCN-Schicht auf einen kleinstmöglichen Wert eingestellt (vorzugsweise im Wesentlichen null).

[0144] Dann wurde das Substrat **1**, auf dem die Ätzmaskenschicht **10** ausgebildet war, in eine DC-Magnetron-Sputtervorrichtung eingebracht. Nachdem der Innenraum der Sputtervorrichtung auf einen Druck von  $2 \times 10^{-5}$  Pa oder weniger evakuiert war, wurde ein Mischgas aus Xe und N<sub>2</sub> in die Sputtervorrichtung eingeleitet. In diesem Fall wurden die Durchflussrate von Xe und die Durchflussrate von N<sub>2</sub> auf 12,9 sccm bzw. 5 sccm



eingestellt. Als Sputtertarget wurde Ta verwendet. Nachdem sich die Gasdurchflussraten stabilisiert hatten, wurde die Leistung einer DC-Leistungsversorgung auf 1,5 kW eingestellt, wodurch eine Tantalnitrid(TaN)lage **21** mit einer Dicke von 23 nm auf der Ätzmaskenschicht **10** ausgebildet wurde (vergl. [Fig. 5A](#)).

[0145] Dann wurde, während das Substrat **1**, auf dem die Tantalnitrid(TaN)lage **21** ausgebildet war, in der Sputtervorrichtung verblieb, ein Mischgas, das ein Ar-Gas mit einer Durchflussrate von 90 sccm und ein O<sub>2</sub>-Gas mit einer Durchflussrate von 34,7 sccm enthielt, in die Sputtervorrichtung eingeleitet, woraufhin die Leistung der DC-Leistungsversorgung auf 0,7 kW eingestellt wurde, um eine Tantaloxid(TaO)lage **22** mit einer Dicke von 10 nm auf die Tantalnitrid(TaN)lage **21** aufzubringen (vergl. [Fig. 5A](#)).

[0146] Auf die vorstehend beschriebene Weise wurde eine lichtabschirmende Schicht **20** auf Tantalbasis ausgebildet, die die Tantalnitrid(TaN)lage **21** und die Tantaloxid(TaO)lage **22** enthält, die stapelförmig aufeinander ausgebildet sind.

[0147] Das Reflexionsvermögen (vorderseitige Reflexionsvermögen) einer vom Substrat **1** abgewandten Oberfläche der derart ausgebildeten lichtabschirmenden Schicht **20** betrug für ArF-Belichtungslicht (Wellenlänge 193 nm) 25,3%. Außerdem betrug der Lichtdurchlassgrad für ArF-Belichtungslicht 0,1%. Es wurde eine AES-(Augerelektronenspektroskopie)Analyse ausgeführt, wobei sich ergab, dass der N-Anteil der Tantalnitrid(TaN)lage **21** 15 Atom-% und der O-Anteil der Tantaloxid(TaO)lage **22** 65 Atom-% betrugen.

[0148] Der Flächenwiderstand, der für die Probe in der Stufe gemessen wurde, in der die Tantaloxid(TaO)lage **22** ausgebildet war, betrug 90 Ω/□.

#### [Herstellung einer Fotomaske]

[0149] Wie in [Fig. 5A](#) dargestellt ist, wurde unter Verwendung eines derart hergestellten Fotomaskenrohlings ein chemisch verstärktes positives Resist **50** für Elektronenstrahlolithografie (einen Belichtungsprozess) (FEP171, hergestellt von FUJIFILM Electronic Materials Co., Ltd.) durch ein Rotationsbeschichtungsverfahren (Spin Coating) in einer Dicke von 150 nm auf der Tantaloxid(TaO)lage **22** aufgebracht.

[0150] Dann wurde unter Verwendung einer Elektronenstrahlolithografievorrichtung ein Musterschreibvorgang bezüglich der Resistschicht **50** ausgeführt, und anschließend wurde unter Verwendung eines vorgegebenen Entwicklers ein Entwicklungsprozess ausgeführt, um ein Resistmuster **50a** auszubilden ([Fig. 5B](#)).

[0151] Dann wurde unter Verwendung des Resistmusters **50a** als Maske die Tantaloxid(TaO)lage **22** unter Verwendung von CHF<sub>3</sub> als Ätzgas trockenengeätzt, um ein Tantaloxid(TaO)lagenmuster **22a** auszubilden ([Fig. 5C](#)).

[0152] Anschließend wurde unter Verwendung des Resistmusters **50a** und des Tantaloxid(TaO)lagenmusters **22a** als Maske die Tantalnitrid(TaN)lage **21** unter Verwendung von Cl<sub>2</sub> als Ätzgas trockenengeätzt, um ein Tantalnitrid(TaN)lagenmuster **21a** auszubilden ([Fig. 5D](#)).

[0153] Dann wurde unter Verwendung des Resistmusters **50a** und des Schichtmusters **20a** auf Tantalbasis (Tantalnitrid(TaN)lagenmuster **21a**/Tantaloxid(TaO)lagenmuster **22a**) als Maske die Ätzmaskenschicht **10** auf Chrombasis trockenengeätzt, um ein Ätzmaskenschichtmuster **10a** auf Chrombasis auszubilden ([Fig. 5E](#)). In diesem Fall wurde als Trockenätzgas ein Mischgas aus Cl<sub>2</sub> und O<sub>2</sub> (Cl<sub>2</sub>:O<sub>2</sub> = 4:1) verwendet.

[0154] Dann wurde, wie in [Fig. 5F](#) dargestellt, das unnötig gewordene Resistmuster **50a** entfernt, woraufhin ein chemisch verstärktes positives Resist **51** für Elektronenstrahlolithografie (einen Belichtungsprozess) (FEP171, hergestellt von FUJIFILM Electronic Materials Co., Ltd.) durch ein Rotationsbeschichtungsverfahren (Spin Coating) erneut in einer Dicke von 150 nm aufgebracht wurde.

[0155] Daraufhin wurde unter Verwendung der Elektronenstrahlolithografievorrichtung ein Musterschreibvorgang bezüglich der Resistschicht **51** ausgeführt, woraufhin unter Verwendung eines vorgegebenen Entwicklers ein Entwicklungsprozess ausgeführt wurde, um ein Resistmuster **51a** auszubilden ([Fig. 5G](#)). Hierbei wurde das Resistmuster **51a** zum Ausbilden eines Lichtabschirmungsstreifens im Umfangsbereich des Substrats und zum Ausbilden eines großflächigen pflasterförmigen Musters eines lichtabschirmenden Abschnitts oder eines Zebamusters zum Steuern des Lichtdurchlassgrades ausgebildet.

[0156] Dann wurde unter Verwendung des Ätzmaskenschichtmusters **10a** auf Chrombasis als Maske das

lichtdurchlässige Substrat **1** durch ein  $\text{CHF}_3$ -Gas trocken geätzt, um ein Phasenverschiebungsmuster (Phasenverschiebungsabschnitt) des Substratabtragungstyps zu erhalten ([Fig. 5H](#)). In diesem Fall wurde das lichtdurchlässige Substrat **1** bis zu einer Tiefe (insbesondere bis zu einer Tiefe von 170 nm) geätzt, die dazu geeignet ist, eine Phasendifferenz von  $180^\circ$  für ArF-Belichtungslicht (193 nm) zu erhalten, wodurch ein Abtragsabschnitt **1a** auf dem lichtdurchlässigen Substrat **1** ausgebildet wird, um das Phasenverschiebungsmuster (Phasenverschiebungsabschnitt) bereitzustellen. Während dieses Trockenätzprozesses verschwand das Schichtmuster **20a** auf Tantalbasis (Tantalnitrid(TaN)lagenmuster **21a**/Tantaloxid(TaO)lagenmuster **22a**) durch das Trockenätzen allmählich, und bei Abschluss des Ätzvorgangs für das lichtdurchlässige Substrat **1** verschwand die TaO/TaN-Schicht an einem Abschnitt ohne Resistmuster **51a** vollständig ([Fig. 5H](#)). Dies ist der Fall, weil die Äztiefe von 170 nm des lichtdurchlässigen Substrats **1** bezüglich der Gesamtdicke von 33 nm der TaO/TaN-Schicht ausreichend groß ist, so dass die Ätzzeit ausreichend lang ist.

[0157] Dann wurde das Ätzmaskenschichtmuster **10a** an einem Abschnitt ohne Resistmuster **51a** durch Trockenätzen durch ein Mischgas aus  $\text{Cl}_2$  und  $\text{O}_2$  ( $\text{Cl}_2:\text{O}_2 = 4:1$ ) entfernt ([Fig. 5I](#)).

[0158] Daraufhin wurde das Resistmuster **51a** entfernt ([Fig. 5J](#)), woraufhin ein Reinigungsvorgang ausgeführt wurde, wodurch eine Fotomaske **100** erhalten wurde.

[Auswertung]

[0159] Die gemäß Beispiel 2 erhaltene Fotomaske wurde analysiert.

[0160] Dabei zeigte sich bezüglich der Auflösung des auf der Fotomaske ausgebildeten Phasenverschiebungsmusters (Phasenverschiebungsabschnitts) des Substratabtragungstyps, dass ein Phasenverschiebungsmuster von 50 nm auflösbar war.

[0161] Gleichzeitig betrug der Lichtdurchlassgrad für ArF-Belichtungslicht am lichtabschirmenden Abschnitt, der durch die Ätzmaskenschicht **10** auf Chrombasis und die Schicht **20** auf Tantalbasis gebildet wurde, die stapelförmig aufeinander angeordnet sind, 0,1%, und es konnte eine optische Dichte CD von 3,0 erhalten werden.

[0162] Im Herstellungsprozess für die Fotomaske von Beispiel 2 wurde das Resistmuster **50a** entfernt, nachdem das Ätzmaskenschichtmuster **10a** ausgebildet wurde (zwischen den Prozessen von [Fig. 5E](#) und [Fig. 5F](#)). Das Resistmuster **50a** kann jedoch entfernt werden, nachdem das Tantaloxid(TaO)lagenmuster **22a** ausgebildet wurde (zwischen den Prozessen von [Fig. 5C](#) und [Fig. 5D](#)). Außerdem wird die Verarbeitungsgenauigkeit weiter verbessert.

### Beispiel 3

[0163] Beispiel 3 betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines Fotomaskenrohlings zum Herstellen einer Phasenverschiebungsmaske eines Typs, gemäß dem ein Substrat grundsätzlich nicht abgetragen wird und ein Phasenverschiebungsabschnitt durch eine Halbton-Phasenverschiebungsschicht ausgebildet wird, und betrifft ferner ein Verfahren zum Herstellen einer Fotomaske.

[Verfahren zum Herstellen des Fotomaskenrohlings]

[0164] Nachstehend werden unter Bezug auf die [Fig. 6A](#) bis [Fig. 6I](#) erfindungsgemäße Verfahren zum Herstellen eines Fotomaskenrohlings und einer Fotomaske gemäß Beispiel 3 beschrieben.

[0165] Zunächst wurde ein aus Quarz hergestelltes Substrat hochglanzpoliert und dann gereinigt, um ein lichtdurchlässiges Substrat **1** der Größe 152 mm × 152 mm × 6,35 mm (6 Zoll × 6 Zoll × 0,25 Zoll) zu erhalten ([Fig. 6A](#)).

[0166] Dann wurde unter Verwendung eines Mischtargets aus Molybdän (Mo) und Silizium (Si) (Mo:Si = 1:9 [Atom-%]) ein reaktiver Sputtervorgang in einer Mischgasatmosphäre aus Argon (Ar) und Stickstoff ( $\text{N}_2$ ) ausgeführt ( $\text{Ar}:\text{N}_2 = 10:90$  [Vol.-%]; Druck: 0,3 [Pa]), wodurch eine halb-lichtdurchlässige Phasenverschiebungsschicht **30** auf MoSiN-Basis mit einer Dicke von 68 nm auf dem lichtdurchlässigen Substrat **1** ausgebildet wurde ([Fig. 6A](#)). In diesem Fall wurde die Dicke der Phasenverschiebungsschicht **30** derart eingestellt, dass eine Phasendifferenz von  $180^\circ$  für ArF-Belichtungslicht (Wellenlänge 193 nm) erhalten wurde. Der Lichtdurchlassgrad der Phasenverschiebungsschicht **30** für ArF-Belichtungslicht (Wellenlänge 193 nm) betrug 6%.

**[0167]** Dann wurde unter Verwendung einer DC-Magnetron-Sputtervorrichtung eine Ätzmaskenschicht **10** auf dem lichtdurchlässigen Substrat **30** ausgebildet ([Fig. 6A](#)). Insbesondere wurde unter Verwendung eines Chromtargets eine CrOCN-Schicht in einer Dicke von 15 nm unter den folgenden Bedingungen ausgebildet: eingeleitete Gase und Durchflussraten:

Ar: 18 sccm,  
 CO<sub>2</sub>: 18 sccm,  
 N<sub>2</sub>: 10 sccm,  
 Sputterleistung: 1,7 kW.

**[0168]** In diesem Fall wurde die Schichtspannung der CrOCN-Schicht auf einen kleinstmöglichen Wert eingestellt (vorzugsweise im Wesentlichen null).

**[0169]** Dann wurde das Substrat **1**, auf dem die Ätzmaskenschicht ausgebildet war, in eine DC-Magnetron-Sputtervorrichtung eingebracht. Nachdem der Innenraum der Sputtervorrichtung auf einen Druck von  $2 \times 10^{-5}$  Pa oder weniger evakuiert war, wurde ein Mischgas aus Xe und N<sub>2</sub> in die Sputtervorrichtung eingeleitet. In diesem Fall wurden die Durchflussrate von Xe und die Durchflussrate von N<sub>2</sub> auf 12,7 sccm bzw. 5 sccm eingestellt. Als Sputtertarget wurde Ta verwendet. Nachdem sich die Gasdurchflussraten stabilisiert hatten, wurde die Leistung einer DC-Leistungsversorgung auf 1,5 kW eingestellt, wodurch eine Tantalnitrid(TaN)lage **21** mit einer Dicke von 10 nm auf der Ätzmaskenschicht **10** ausgebildet wurde (vergl. [Fig. 6A](#)).

**[0170]** Dann wurde, während das Substrat **1**, auf dem die Tantalnitrid(TaN)lage **21** ausgebildet war, in der Sputtervorrichtung verblieb, ein Mischgas, das ein Ar-Gas mit einer Durchflussrate von 90 sccm und ein O<sub>2</sub>-Gas mit einer Durchflussrate von 34,7 sccm enthielt, in die Sputtervorrichtung eingeleitet, woraufhin die Leistung der DC-Leistungsversorgung auf 0,7 kW eingestellt wurde, um eine Tantaloxid(TaO)lage **22** mit einer Dicke von 10 nm auf die Tantalnitrid(TaN)lage **21** aufzubringen (vergl. [Fig. 6A](#)).

**[0171]** Auf die vorstehend beschriebene Weise wurde eine lichtabschirmende Schicht **20** auf Tantalbasis ausgebildet, die die Tantalnitrid(TaN)lage **21** und die Tantaloxid(TaO)lage **22** enthält, die stapelförmig aufeinander ausgebildet sind.

**[0172]** Das Reflexionsvermögen (vorderseitige Reflexionsvermögen) einer vom Substrat **1** abgewandten Oberfläche der derart ausgebildeten lichtabschirmenden Schicht **20** betrug für ArF-Belichtungslicht (Wellenlänge 193 nm) 26,2%. Außerdem betrug der Lichtdurchlassgrad für ArF-Belichtungslicht 0,1%. Es wurde eine AES-(Augerelektronenspektroskopie)Analyse ausgeführt, wobei sich ergab, dass der N-Anteil der Tantalnitrid(TaN)lage **21** 23 Atom-% und der O-Anteil der Tantaloxid(TaO)lage **22** 65 Atom-% betrugen.

**[0173]** Der Flächenwiderstand, der für die Probe in der Stufe gemessen wurde, in der die Tantaloxid(TaO)lage **22** ausgebildet war, betrug 160 Ω/□.

#### [Herstellung einer Fotomaske]

**[0174]** Wie in [Fig. 6A](#) dargestellt ist, wurde unter Verwendung eines derart hergestellten Fotomaskenrohlings ein chemisch verstärktes positives Resist **50** für Elektronenstrahlithografie (einen Belichtungsprozess) (PRL009, hergestellt von FUJIFILM Electronic Materials Co., Ltd.) durch ein Rotationsbeschichtungsverfahren (Spin Coating) in einer Dicke von 120 nm auf der Tantaloxid(TaO)lage **22** aufgebracht.

**[0175]** Dann wurde unter Verwendung einer Elektronenstrahlithografievorrichtung ein Musterschreibvorgang bezüglich der Resistschicht **50** ausgeführt, und anschließend wurde unter Verwendung eines vorgegebenen Entwicklers ein Entwicklungsprozess ausgeführt, um ein Resistmuster **50a** auszubilden ([Fig. 6B](#)).

**[0176]** Dann wurde unter Verwendung des Resistmusters **50a** als Maske die Schicht **20** auf Tantalbasis, die die stapelförmig aufeinander angeordneten TaN- und TaO-Lagen aufweist, trocken geätzt, um ein Schichtmuster **20a** auf Tantalbasis auszubilden (Tantalnitrid(TaN)lagenmuster **21a**/Tantaloxid(TaO)lagenmuster **22a**) ([Fig. 6C](#)). In diesem Fall wurde CHF<sub>3</sub> als Trockenätzgas verwendet.

**[0177]** Anschließend wurde unter Verwendung des Resistmusters **50a** und des Schichtmusters **20a** auf Tantalbasis als Maske die Ätzmaskenschicht **10** auf Chrombasis trocken geätzt, um ein Ätzmaskenschichtmuster **10a** auf Chrombasis auszubilden ([Fig. 6D](#)). In diesem Fall wurde als Trockenätzgas ein Mischgas aus Cl<sub>2</sub> und O<sub>2</sub> (Cl<sub>2</sub>:O<sub>2</sub> = 4:1) verwendet.

[0178] Dann wurde, wie in [Fig. 6E](#) dargestellt, das unnötig gewordene Resistmuster **50a** entfernt, woraufhin ein chemisch verstärktes positives Resist **51** für Elektronenstrahlolithografie (einen Belichtungsprozess) (FEP171, hergestellt von FUJIFILM Electronic Materials Co., Ltd.) durch ein Rotationsbeschichtungsverfahren (Spin Coating) erneut in einer Dicke von 150 nm aufgebracht wurde.

[0179] Daraufhin wurde unter Verwendung der Elektronenstrahlolithografievorrichtung ein Musterschreibvorgang bezüglich der Resistschicht **51** ausgeführt, woraufhin unter Verwendung eines vorgegebenen Entwicklers ein Entwicklungprozess ausgeführt wurde, um ein Resistmuster **51a** auszubilden ([Fig. 6F](#)). Hierbei wurde das Resistmuster **51a** an einem Abschnitt ausgebildet, wo das lichtabschirmende Schichtmuster erhalten bleiben sollte.

[0180] Dann wurde unter Verwendung des Ätzmaskenschichtmusters **10a** auf Chrombasis als Maske die Phasenverschiebungsschicht **30** durch zwei Arten von Gasen auf Fluorbasis trocken geätzt, um ein Phasenverschiebungsschichtmuster (Phasenverschiebungsabschnitt) **30a** auszubilden ([Fig. 6G](#)). In diesem Fall wurde der Trockenätzprozess unter Verwendung eines Mischgases aus  $\text{CHF}_3$ -Gas und He-Gas so lange ausgeführt, bis das Tantaloxid( $\text{TaO}$ )lagenmuster **22a** durch das Ätzen verschwand. Nachdem das Tantaloxid( $\text{TaO}$ )lagenmuster **22a** verschwunden war, wurde ein Trockenätzvorgang unter Verwendung eines Mischgases aus  $\text{SF}_6$ -Gas und He-Gas ausgeführt. Während des Trockenätzens verschwand das Schichtmuster **20a** auf Tantalbasis (Tantalnitrid( $\text{TaN}$ ))lagenmuster **21a**/Tantaloxid( $\text{TaO}$ )lagenmuster **22a** durch das Trockenätzen allmählich, und bei Abschluss des Ätzvorgangs der Phasenverschiebungsschicht **30** verschwand die  $\text{TaO}/\text{TaN}$ -Schicht an einem Abschnitt ohne Resistmuster **51a** vollständig ([Fig. 6G](#)). Dies ist der Fall, weil die Dicke von 68 nm der Phasenverschiebungsschicht **30** auf  $\text{MoSiN}$ -Basis bezüglich der Gesamtdicke von 20 nm der  $\text{TaO}/\text{TaN}$ -Schicht ausreichend groß ist, so dass die Ätzzeit ausreichend lang ist.

[0181] Dann wurde das Ätzmaskenschichtmuster **10a** an einem Abschnitt ohne Resistmuster **51a** durch Trockenätzen durch ein Mischgas aus  $\text{Cl}_2$  und  $\text{O}_2$  ( $\text{Cl}_2:\text{O}_2 = 4:1$ ) entfernt ([Fig. 6H](#)).

[0182] Daraufhin wurde das Resistmuster **51a** entfernt ([Fig. 6I](#)), woraufhin ein Reinigungsvorgang ausgeführt wurde, wodurch eine Fotomaske **100** erhalten wurde.

[Auswertung]

[0183] Die gemäß Beispiel 3 erhaltene Fotomaske wurde analysiert.

[0184] Dabei zeigte sich bezüglich der Auflösung des auf der Fotomaske ausgebildeten Phasenverschiebungsmusters (Phasenverschiebungsabschnitts) **30a**, dass ein Phasenverschiebungsschichtmuster von 40 nm auflösbar war.

[0185] Gleichzeitig betrug der Lichtdurchlassgrad für ArF-Belichtungslicht am lichtabschirmenden Abschnitt, der durch die Halbton-Phasenverschiebungsschicht **30**, die Ätzmaskenschicht **10** auf Chrombasis und die Schicht **20** auf Tantalbasis gebildet wurde, die stapelförmig aufeinander angeordnet sind, 0,1%, und es konnte eine optische Dichte OD von 3,0 erhalten werden.

[0186] Im Herstellungsprozess für die Fotomaske von Beispiel 3 wurde das Resistmuster **50a** entfernt, nachdem das Ätzmaskenschichtmuster **10a** ausgebildet wurde (zwischen den Prozessen von [Fig. 6D](#) und [Fig. 6E](#)). Das Resistmuster **50a** kann jedoch entfernt werden, nachdem das Schichtmuster **20a** auf Tantalbasis ausgebildet wurde (zwischen den Prozessen von [Fig. 6C](#) und [Fig. 6D](#)). Außerdem wird die Verarbeitungsgenauigkeit weiter verbessert.

#### Beispiel 4

[0187] Beispiel 4 betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines Fotomaskenrohlings zum Herstellen einer Phasenverschiebungsmaske eines Typs, gemäß dem ein Substrat grundsätzlich nicht abgetragen wird und ein Phasenverschiebungsabschnitt durch eine Halbton-Phasenverschiebungsschicht ausgebildet wird, und betrifft ferner ein Verfahren zum Herstellen einer Fotomaske. Beispiel 4 unterscheidet sich von Beispiel 3 hinsichtlich der Dicke der Tantalnitrid( $\text{TaN}$ )lage **21** und des zum Ätzen dieser Lage verwendeten Ätzgases.

[Verfahren zum Herstellen des Fotomaskenrohlings]

[0188] Nachstehend werden unter Bezug auf die [Fig. 7A](#) bis [Fig. 7J](#) erfindungsgemäße Verfahren zum Her-

stellen eines Fotomaskenrohlings und einer Fotomaske gemäß Beispiel 4 beschrieben.

**[0189]** Zunächst wurde ein aus Quarz hergestelltes Substrat hochglanzpoliert und dann gereinigt, um ein lichtdurchlässiges Substrat **1** der Größe 152 mm × 152 mm × 6,35 mm (6 Zoll × 6 Zoll × 0,25 Zoll) zu erhalten ([Fig. 7A](#)).

**[0190]** Dann wurde unter Verwendung eines Mischtargets aus Molybdän (Mo) und Silizium (Si) (Mo:Si = 1:9 [Atom-%]) ein reaktiver Sputtervorgang in einer Mischgasatmosphäre aus Argon (Ar), Stickstoff (N<sub>2</sub>) und Sauerstoff (O<sub>2</sub>) ausgeführt (Ar:N<sub>2</sub>:O<sub>2</sub> = 10:80:10 [Vol.-%]; Druck: 0,3 [Pa]), wodurch eine halb-lichtdurchlässige Phasenverschiebungsschicht **30** auf MoSiON-Basis mit einer Dicke von 89 nm auf dem lichtdurchlässigen Substrat **1** ausgebildet wurde ([Fig. 7A](#)). In diesem Fall wurde die Dicke der Phasenverschiebungsschicht **30** derart eingestellt, dass eine Phasendifferenz von 180° für ArF-Belichtungslicht (Wellenlänge 193 nm) erhalten wurde. Der Lichtdurchlassgrad der Phasenverschiebungsschicht **30** für ArF-Belichtungslicht (Wellenlänge 193 nm) betrug 15%.

**[0191]** Dann wurde unter Verwendung einer DC-Magnetron-Sputtervorrichtung eine Ätzmaskenschicht **10** auf der Phasenverschiebungsschicht **30** ausgebildet ([Fig. 7A](#)). Insbesondere wurde unter Verwendung eines Chromtargets eine CrOCN-Schicht in einer Dicke von 15 nm unter den folgenden Bedingungen ausgebildet: eingeleitete Gase und Durchflussraten:

Ar: 18 sccm,  
CO<sub>2</sub>: 18 sccm,  
N<sub>2</sub>: 10 sccm,  
Sputterleistung: 1,7 kW.

**[0192]** In diesem Fall wurde die Schichtspannung der CrOCN-Schicht auf einen kleinstmöglichen Wert eingestellt (vorzugsweise im Wesentlichen null).

**[0193]** Dann wurde das Substrat **1**, auf dem die Ätzmaskenschicht **10** ausgebildet war, in eine DC-Magnetron-Sputtervorrichtung eingebracht. Nachdem der Innenraum der Sputtervorrichtung auf einen Druck von  $2 \times 10^{-5}$  Pa oder weniger evakuiert war, wurde ein Mischgas aus Xe und N<sub>2</sub> in die Sputtervorrichtung eingeleitet. In diesem Fall wurden die Durchflussrate von Xe und die Durchflussrate von N<sub>2</sub> auf 12,7 sccm bzw. 5 sccm eingestellt. Als Sputtertarget wurde Ta verwendet. Nachdem sich die Gasdurchflussraten stabilisiert hatten, wurde die Leistung einer DC-Leistungsversorgung auf 1,5 kW eingestellt, wodurch eine Tantalnitrid(TaN)lage **21** mit einer Dicke von 12 nm auf der Ätzmaskenschicht **10** ausgebildet wurde (vergl. [Fig. 7A](#)).

**[0194]** Dann wurde, während das Substrat **1**, auf dem die Tantalnitrid(TaN)lage **21** ausgebildet war, in der Sputtervorrichtung verblieb, ein Mischgas, das ein Ar-Gas mit einer Durchflussrate von 90 sccm und ein O<sub>2</sub>-Gas mit einer Durchflussrate von 34,7 sccm enthielt, in die Sputtervorrichtung eingeleitet, woraufhin die Leistung der DC-Leistungsversorgung auf 0,7 kW eingestellt wurde, um eine Tantaloxid(TaO)lage **22** mit einer Dicke von 10 nm auf die Tantalnitrid(TaN)lage **21** aufzubringen (vergl. [Fig. 7A](#)).

**[0195]** Auf die vorstehend beschriebene Weise wurde eine lichtabschirmende Schicht **20** auf Tantalbasis ausgebildet, die die Tantalnitrid(TaN)lage **21** und die Tantaloxid(TaO)lage **22** enthält, die stapelförmig aufeinander ausgebildet sind.

**[0196]** Das Reflexionsvermögen (vorderseitige Reflexionsvermögen) einer vom Substrat **1** abgewandten Oberfläche der derart ausgebildeten lichtabschirmenden Schicht **20** betrug für ArF-Belichtungslicht (Wellenlänge 193 nm) 26,2%. Außerdem betrug der Lichtdurchlassgrad für ArF-Belichtungslicht 0,1%. Es wurde eine AES-(Augerelektronenspektroskopie)Analyse ausgeführt, wobei sich ergab, dass der N-Anteil der Tantalnitrid(TaN)lage **21** 15 Atom-% und der O-Anteil der Tantaloxid(TaO)lage **22** 65 Atom-% betrugen.

**[0197]** Der Flächenwiderstand, der für die Probe in der Stufe gemessen wurde, in der die Tantaloxid(TaO)lage **22** ausgebildet war, betrug 150 Ω/□.

[Herstellung einer Fotomaske]

**[0198]** Wie in [Fig. 7A](#) dargestellt ist, wurde unter Verwendung eines derart hergestellten Fotomaskenrohlings ein chemisch verstärktes positives Resist **50** für Elektronenstrahlolithografie (einen Belichtungsprozess) (FEP171, hergestellt von FUJIFILM Electronic Materials Co., Ltd.) durch ein Rotationsbeschichtungsverfahren (Spin Coating) in einer Dicke von 150 nm auf der Tantaloxid(TaO)lage **22** aufgebracht.



[0199] Dann wurde unter Verwendung einer Elektronenstrahlithografievorrichtung ein Musterschreibvorgang bezüglich der Resistschicht **50** ausgeführt, und anschließend wurde unter Verwendung eines vorgegebenen Entwicklers ein Entwicklungsprozess ausgeführt, um ein Resistmuster **50a** auszubilden ([Fig. 7B](#)).

[0200] Dann wurde unter Verwendung des Resistmusters **50a** als Maske die Tantaloxid(TaO)lage **22** durch  $\text{CHF}_3$  als Ätzgas trockenengeätzt, um ein Tantaloxid(TaO)lagenmuster **22a** auszubilden ([Fig. 7C](#)).

[0201] Anschließend wurde unter Verwendung des Resistmusters **50a** und des Tantaloxid(TaO)lagenmusters **22a** als Maske die Tantalnitrid(TaN)lage **21** durch  $\text{Cl}_2$  als Ätzgas trockenengeätzt, um ein Tantalnitrid(TaN)lagenmuster **21a** auszubilden ([Fig. 7D](#)).

[0202] Dann wurde unter Verwendung des Resistmusters **50a** und des Schichtmusters **20a** auf Tantalbasis (Tantalnitrid(TaN)lagenmuster **21a**/Tantaloxid(TaO)lagenmuster **22a**) als Maske die Ätzmaskenschicht **10** auf Chrombasis trockenengeätzt, um ein Ätzmaskenschichtmuster **10a** auf Chrombasis auszubilden ([Fig. 7E](#)). In diesem Fall wurde als Trockenätzgas ein Mischgas aus  $\text{Cl}_2$  und  $\text{O}_2$  ( $\text{Cl}_2:\text{O}_2 = 4:1$ ) verwendet.

[0203] Dann wurde, wie in [Fig. 7F](#) dargestellt, das unnötig gewordene Resistmuster **50a** entfernt, woraufhin ein chemisch verstärktes positives Resist **51** für Elektronenstrahlithografie (einen Belichtungsprozess) (FEP171, hergestellt von FUJIFILM Electronic Materials Co., Ltd.) durch ein Rotationsbeschichtungsverfahren (Spin Coating) erneut in einer Dicke von 150 nm aufgebracht wurde.

[0204] Daraufhin wurde unter Verwendung der Elektronenstrahlithografievorrichtung ein Musterschreibvorgang bezüglich der Resistschicht **51** ausgeführt, woraufhin unter Verwendung eines vorgegebenen Entwicklers ein Entwicklungsprozess ausgeführt wurde, um ein Resistmuster **51a** auszubilden ([Fig. 7G](#)). Hierbei wurde das Resistmuster **51a** an einem Abschnitt ausgebildet, wo das lichtabschirmende Schichtmuster erhalten bleiben sollte.

[0205] Dann wurde unter Verwendung des Ätzmaskenschichtmusters **10a** auf Chrombasis als Maske die Phasenverschiebungsschicht **30** durch ein  $\text{SF}_6$ -Gas trockenengeätzt, um ein Phasenverschiebungsschichtmuster (Phasenverschiebungsabschnitt) **30a** auszubilden ([Fig. 7H](#)). Während dieses Trockenätzprozesses verschwand das Schichtmuster **20a** auf Tantalbasis (Tantalnitrid(TaN)lagenmuster **21a**/Tantaloxid(TaO)lagenmuster **22a**) durch das Trockenätzen allmählich, und bei Abschluss des Ätzvorgangs für die Phasenverschiebungsschicht **30** verschwand die TaO/TaN-Schicht an einem Abschnitt ohne Resistmuster **51a** vollständig ([Fig. 7H](#)). Dies ist der Fall, weil die Dicke von 89 nm der Phasenverschiebungsschicht **30** auf MoSiON-Basis bezüglich der Gesamtdicke von 22 nm der TaO/TaN-Schicht ausreichend groß ist, so dass die Ätzzeit ausreichend lang ist.

[0206] Dann wurde das Ätzmaskenschichtmuster **10a** an einem Abschnitt ohne Resistmuster **51a** durch Trockenätzen durch ein Mischgas aus  $\text{Cl}_2$  und  $\text{O}_2$  ( $\text{Cl}_2:\text{O}_2 = 4:1$ ) entfernt ([Fig. 7I](#)).

[0207] Daraufhin wurde das Resistmuster **51a** entfernt ([Fig. 7J](#)), woraufhin ein Reinigungsvorgang ausgeführt wurde, wodurch eine Fotomaske **100** erhalten wurde.

[Auswertung]

[0208] Die gemäß Beispiel 4 erhaltene Fotomaske wurde analysiert.

[0209] Dabei zeigte sich bezüglich der Auflösung des auf der Fotomaske ausgebildeten Phasenverschiebungsschichtmusters (Phasenverschiebungsabschnitts) **30a**, dass ein Phasenverschiebungsschichtmuster von 50 nm auflösbar war.

[0210] Gleichzeitig betrug der Lichtdurchlassgrad für ArF-Belichtungslicht am lichtabschirmenden Abschnitt, der durch die Halbton-Phasenverschiebungsschicht **30**, die Ätzmaskenschicht **10** auf Chrombasis und die Schicht **20** auf Tantalbasis gebildet wurde, die stapelförmig aufeinander angeordnet sind, 0,1%, und es konnte eine optische Dichte OD von 3,0 erhalten werden.

[0211] Im Herstellungsprozess für die Fotomaske von Beispiel 4 wurde das Resistmuster **50a** entfernt, nachdem das Ätzmaskenschichtmuster **10a** ausgebildet wurde (zwischen den Prozessen von [Fig. 7E](#) und [Fig. 7F](#)). Das Resistmuster **50a** kann jedoch entfernt werden, nachdem das Tantaloxid(TaO)lagenmuster **22a** ausgebildet wurde (zwischen den Prozessen von [Fig. 7C](#) und [Fig. 7D](#)). Außerdem wird die Verarbeitungsgenauigkeit

weiter verbessert.

### Chemische Beständigkeitstests

**[0212]** Es wurden die Beständigkeiten einer TaO-Schicht, einer TaN-Schicht und einer MoSiON-Schicht bezüglich heißem Wasser und Alkali (Ammoniak-Wasserstoffperoxid-Gemisch) untersucht.

**[0213]** Die TaN-Schicht wurde auf die gleiche Weise wie in Beispiel 1 auf einem Substrat ausgebildet. Insbesondere wurde unter Verwendung eines Ta-Targets die TaN-Schicht mit einer Dicke von 50 nm auf einem synthetischen Quarzsubstrat durch reaktives Sputtern unter den folgenden Bedingungen ausgeführt: die Durchflussrate von Xe und die Durchflussrate von N<sub>2</sub> wurden auf 12,7 sccm bzw. 10 sccm eingestellt, und die Leistung einer DC-Leistungsversorgung wurde auf 1,5 kW eingestellt.

**[0214]** Die TaO-Schicht wurde auf die gleiche Weise wie in Beispiel 1 auf einem Substrat ausgebildet. Insbesondere wurde unter Verwendung eines Ta-Targets die TaO-Schicht mit einer Dicke von 50 nm auf einem synthetischen Quarzsubstrat durch reaktives Sputtern unter den folgenden Bedingungen ausgeführt: die Durchflussrate von Ar und die Durchflussrate von O<sub>2</sub> wurden auf 90 sccm bzw. 34,7 sccm eingestellt, und die Leistung einer DC-Leistungsversorgung wurde auf 0,7 kW eingestellt.

**[0215]** Die MoSiON-Schicht wurde in einer Dicke von 50 nm auf einem synthetischen Quarzsubstrat durch reaktives Sputtern unter Verwendung eines Mischtargets aus Molybdän (Mo) und Silizium (Si) (Mo:Si = 1:9 [Atom-%]) in einer Mischgasatmosphäre aus Argon (Ar), Stickstoff (N<sub>2</sub>) und Sauerstoff (O<sub>2</sub>) (Ar:N<sub>2</sub>:O<sub>2</sub> = 10:80:10 [Vol.-%]; Druck: 0,3 [Pa]) ausgebildet.

**[0216]** Die Bedingungen der chemischen Beständigkeitstests sind nachstehend dargestellt.

#### (1) Bedingungen des Beständigkeitstests bezüglich Alkali (Ammoniak-Wasserstoffperoxid-Gemisch)

- Verwendete chemische Lösungen: wässriges Ammoniak (NH<sub>4</sub>OH) EL-Güte 29% (hergestellt von Kanto Chemical Co., Inc.) wässriges Wasserstoffperoxid (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) EL-Güte 30% (hergestellt von Kanto Chemical Co., Inc.)
- Chemisches Mischungsverhältnis: NH<sub>4</sub>OH:H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:H<sub>2</sub>O = 1:1:5 (Volumenverhältnis)
- Behandlungsdauer: Eintauchen für 60 Minuten in die vorstehend erwähnte chemische Mischlösung

#### (2) Bedingungen des Beständigkeitstests bezüglich heißem Wasser

- Reinwassertemperatur: 90°C
- Behandlungsdauer: Eintauchen für 60 Minuten

**[0217]** Die Ergebnisse der chemischen Beständigkeitstests sind in der nachstehenden Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1

Schichtmaterial	Dickenänderung beim Eintauchen in Alkali (nm)	Dickenänderung beim Eintauchen in heißes Wasser (nm)
MoSiON	-1,4	-7,6
TaN	-0,6	+0,8
TaO	+0,3	-0,5

(+ stellt eine Dickenzunahme dar)

**[0218]** Beispielsweise weist MoSiON als Material einer Antireflexionslage in einer in Patentdokument 1 oder 2 beschriebenen lichtabschirmenden Schicht auf MoSi-Basis (z. B. lichtabschirmende MoSi-Hauptlage/MOSiON-Antireflexionslage) eine unzureichende Beständigkeit bezüglich heißem Wasser und Alkali auf, so dass in einem Muster der lichtabschirmenden Schicht auf MoSi-Basis ein Niveauunterschied auftritt.



**[0219]** In allen erfindungsgemäßen Beispielen wird Ta-Oxid als Material der Antireflexionslage verwendet, das im Vergleich zu MoSiON eine ausgezeichnete Beständigkeit bezüglich heißem Wasser und Alkali besitzt.

#### Vergleichsbeispiel 1

**[0220]** Bei der Verwendung eines Phasenverschiebungsmaskenrohrlings mit der Struktur: lichtdurchlässiges Substrat/Halbtton-Phasenverschiebungsschicht auf MoSi-Basis/lichtabschirmende Schicht auf Cr-Basis/EB-Resist oder bei der Verwendung eines Fotomaskenrohrlings mit der Struktur: lichtdurchlässiges Substrat/lichtabschirmende Schicht auf Cr-Basis/EB-Resist zum Herstellen einer Phasenverschiebungsmaske eines Substratabtragungstyps ist die Kombination aus der lichtabschirmenden Schicht auf Cr-Basis und dem EB-Resist enthalten, wobei das EB-Resist durch ein Mischgas aus einem Chlorgas und einem Sauerstoffgas, das als Ätzgas für die lichtabschirmende Schicht auf Cr-Basis verwendet wird, in einem gewissen Grad geätzt wird, so dass es schwierig ist, die EB-Resistschichtdicke auf 200 nm oder weniger zu vermindern.

**[0221]** In der vorliegenden Erfindung wird dagegen die Kombination aus einer Schicht auf Tantalbasis und einem EB-Resist verwendet, wobei das EB-Resist bezüglich eines als Ätzgas für die Schicht auf Tantalbasis verwendeten Gases auf Fluorbasis beständig ist, so dass die Dicke der EB-Resistschicht auf 200 nm oder weniger vermindert werden kann. Gleichzeitig kann mit der Struktur: Ätzmaskenschicht auf Cr-Basis/Schicht auf Tantalbasis die Dicke der EB-Resistschicht vermindert werden, während die optische Dichte (OD) des lichtabschirmenden Abschnitts (der lichtabschirmenden Schicht) aufrechterhalten wird.

#### Vergleichsbeispiel 2

**[0222]** Bei der Verwendung eines Phasenverschiebungsmaskenrohrlings mit der Struktur: lichtdurchlässiges Substrat/Halbtton-Phasenverschiebungsschicht auf MoSi-Basis/lichtabschirmende Schicht auf Ta-Basis (z. B. TaN/TaO)/EB-Resist oder bei der Verwendung eines Fotomaskenrohrlings mit der Struktur: lichtdurchlässiges Substrat/lichtabschirmende Schicht auf Ta-Basis (z. B. TaN/TaO)/EB-Resist zum Herstellen einer Phasenverschiebungsmaske eines Substratabtragungstyps kann, weil die lichtabschirmende Schicht auf Ta-Basis (z. B. TaN/TaO) durch ein Gas auf Fluorbasis geätzt wird, diese Schicht nicht als eine Ätzmaske (harte Maske) für die Halbtton-Phasenverschiebungsschicht auf MoSi-Basis oder das lichtdurchlässige Substrat dienen, das ebenfalls durch ein Gas auf Fluorbasis geätzt wird.

**[0223]** Andererseits ist in der vorliegenden Erfindung die Schicht auf Cr-Basis eingefügt, die als Ätzmaske (harte Maske) für die Halbtton-Phasenverschiebungsschicht auf MoSi-Basis oder das lichtdurchlässige Substrat dient.

#### Vergleichsbeispiel 3

**[0224]** Bei der Verwendung eines Phasenverschiebungsmaskenrohrlings mit der Struktur: lichtdurchlässiges Substrat/Halbtton-Phasenverschiebungsschicht auf MoSi-Basis/lichtabschirmende Schicht auf Ta-Basis (z. B. TaHf oder TaZr/TaO)/EB-Resist oder bei der Verwendung eines Fotomaskenrohrlings mit der Struktur: lichtabschirmendes Substrat/lichtabschirmende Schicht auf Ta-Basis (z. B. TaHf oder TaZr/TaO)/EB-Resist zum Herstellen einer Phasenverschiebungsmaske eines Substratabtragungstyps kann, obwohl durch Hinzufügen von Hf oder Zr zum Ta eine harte Maske bereitgestellt wird, die einem Ätzvorgang durch ein Gas auf Fluorbasis entgegenwirkt, wenn das TaHf entfernt wird, eine Beschädigung der Halbtton-Phasenverschiebungsschicht auf MoSi-Basis oder des lichtdurchlässigen Substrats nicht vermieden werden.

**[0225]** Insbesondere kann beim Entfernen der TaHf-Schicht durch Trockenätzen das TaHf-Metall durch ein  $\text{Cl}_2$ -Gas geätzt werden, es wird allerdings in Luft leicht oxidiert, so dass es nicht entfernt werden kann, wenn nicht die physikalische Ätzwirkung intensiviert wird.

**[0226]** Andererseits muss beim Entfernen der TaHf-Schicht durch Nassätzen Fluorwasserstoffsäure oder heiße Natronätlauge verwendet werden, so dass eine Beschädigung des lichtdurchlässigen Substrats oder der MoSiON-Halbttonschicht nicht vermeidbar ist.

**[0227]** In der vorliegenden Erfindung wird die dünne Schicht auf Ta-Basis während des Ätzens durch ein Gas auf Fluorbasis zum Ausbilden eines Phasenverschiebungsmusters von der Halbtton-Phasenverschiebungsschicht auf MoSi-Basis oder dem lichtdurchlässigen Substrat entfernt, und die verbleibende Schicht auf Cr-Basis kann durch  $\text{Cl}_2 + \text{O}_2$  trockengeätzt oder durch Cer-Ammoniaknitrat oder eine ähnliche Substanz nassgeätzt werden, so dass eine Beschädigung des Phasenverschiebungsmusters vermeidbar ist.

**[0228]** Beispiel 5 betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines Fotomaskenrohlings zum Herstellen einer Phasenverschiebungsmaske eines Typs, gemäß dem ein hochgradig lichtdurchlässiger Phasenverschiebungsabschnitt durch Bereitstellen einer Halbton-Phasenverschiebungsschicht und ferner durch Abtragen eines Substrats ausgebildet wird, und betrifft ferner ein Verfahren zum Herstellen einer Fotomaske.

[Verfahren zum Herstellen des Fotomaskenrohlings]

**[0229]** Nachstehend werden unter Bezug auf die [Fig. 8A](#) bis [Fig. 8J](#) erfindungsgemäße Verfahren zum Herstellen eines Fotomaskenrohlings und einer Fotomaske gemäß Beispiel 5 beschrieben.

**[0230]** Zunächst wurde ein aus Quarz hergestelltes Substrat hochglanzpoliert und dann gereinigt, um ein lichtdurchlässiges Substrat **1** der Größe 152 mm × 152 mm × 6,35 mm (6 Zoll × 6 Zoll × 0,25 Zoll) zu erhalten ([Fig. 8A](#)).

**[0231]** Dann wurde unter Verwendung eines Mischtargets aus Molybdän (Mo) und Silizium (Si) (Mo:Si = 1:9 [Atom-%]) ein reaktiver Sputtervorgang in einer Mischgasatmosphäre aus Argon (Ar) und Stickstoff (N<sub>2</sub>) ausgeführt (Ar:N<sub>2</sub> = 10:90 [Vol.-%]; Druck: 0,3 [Pa]), wodurch eine halb-lichtdurchlässige Phasenverschiebungsschicht **30** auf MoSiN-Basis mit einer Dicke von 30 nm auf dem lichtdurchlässigen Substrat **1** ausgebildet wurde ([Fig. 8A](#)). In diesem Fall wurde der Lichtdurchlassgrad der Phasenverschiebungsschicht **30** für ArF-Belichtungslicht (Wellenlänge 193 nm) 20%, d. h. sie wies einen hohen Lichtdurchlassgrad auf.

**[0232]** Dann wurde unter Verwendung einer DC-Magnetron-Sputtervorrichtung eine Ätzmaskenschicht **10** auf der Phasenverschiebungsschicht **30** ausgebildet ([Fig. 8A](#)). Insbesondere wurde unter Verwendung eines Chromtargets eine CrOCN-Schicht in einer Dicke von 20 nm unter den folgenden Bedingungen ausgebildet: eingeleitete Gase und Durchflussraten:

Ar: 18 sccm,  
CO<sub>2</sub>: 18 sccm,  
N<sub>2</sub>: 10 sccm,  
Sputterleistung: 1,7 kW.

**[0233]** In diesem Fall wurde die Schichtspannung der CrOCN-Schicht auf einen kleinstmöglichen Wert eingestellt (vorzugsweise im Wesentlichen null).

**[0234]** Dann wurde das Substrat **1**, auf dem die Ätzmaskenschicht **10** ausgebildet war, in eine DC-Magnetron-Sputtervorrichtung eingebracht. Nachdem der Innenraum der Sputtervorrichtung auf einen Druck von  $2 \times 10^{-5}$  Pa oder weniger evakuiert war, wurde ein Mischgas (Sputtergas) aus Xe und N<sub>2</sub> in die Sputtervorrichtung eingeleitet. In diesem Fall wurden die Durchflussrate von Xe und die Durchflussrate von N<sub>2</sub> auf 12,9 sccm bzw. 5 sccm eingestellt. Als Sputtertarget wurde Ta verwendet. Nachdem sich die Gasdurchflussraten stabilisiert hatten, wurde die Leistung einer DC-Leistungsversorgung auf 1,5 kW eingestellt, wodurch eine Tantalnitrid(TaN)lage **21** mit einer Dicke von 23 nm auf der Ätzmaskenschicht **10** ausgebildet wurde (vergl. [Fig. 8A](#)).

**[0235]** Dann wurde, während das Substrat **1**, auf dem die Tantalnitrid(TaN)lage **21** ausgebildet war, in der Sputtervorrichtung verblieb, ein Mischgas, das ein Ar-Gas mit einer Durchflussrate von 90 sccm und ein O<sub>2</sub>-Gas mit einer Durchflussrate von 34,7 sccm enthielt, in die Sputtervorrichtung eingeleitet, woraufhin die Leistung der DC-Leistungsversorgung auf 0,7 kW eingestellt wurde, um eine Tantaloxid(TaO)lage **22** mit einer Dicke von 10 nm auf die Tantalnitrid(TaN)lage **21** aufzubringen (vergl. [Fig. 8A](#)).

**[0236]** Auf die vorstehend beschriebene Weise wurde eine lichtabschirmende Schicht **20** auf Tantalbasis ausgebildet, die die Tantalnitrid(TaN)lage **21** und die Tantaloxid(TaO)lage **22** enthält, die stapelförmig aufeinander ausgebildet sind.

**[0237]** Das Reflexionsvermögen (vorderseitige Reflexionsvermögen) einer vom Substrat **1** abgewandten Oberfläche der derart ausgebildeten lichtabschirmenden Schicht **20** betrug für ArF-Belichtungslicht (Wellenlänge 193 nm) 25,3%. Außerdem betrug der Lichtdurchlassgrad für ArF-Belichtungslicht 0,1%. Es wurde eine AES-(Augerelektronenspektroskopie)Analyse ausgeführt, wobei sich ergab, dass der N-Anteil der Tantalnitrid(TaN)lage **21** 15 Atom-% und der O-Anteil der Tantaloxid(TaO)lage **22** 65 Atom-% betrugen.

**[0238]** Der Flächenwiderstand, der für die Probe in der Stufe gemessen wurde, in der die Tantaloxid(TaO)lage

22 ausgebildet war, betrug 85  $\Omega/\square$ .

[Herstellung einer Fotomaske]

[0239] Wie in [Fig. 8A](#) dargestellt ist, wurde unter Verwendung eines derart hergestellten Fotomaskenrohlings ein chemisch verstärktes positives Resist **50** für Elektronenstrahlithografie (einen Belichtungsprozess) (FEP171, hergestellt von FUJIFILM Electronic Materials Co., Ltd.) durch ein Rotationsbeschichtungsverfahren (Spin Coating) in einer Dicke von 150 nm auf der Tantaloxid(TaO)lage **22** aufgebracht.

[0240] Dann wurde unter Verwendung einer Elektronenstrahlithografievorrichtung ein Musterschreibvorgang bezüglich der Resistschicht **50** ausgeführt, und anschließend wurde unter Verwendung eines vorgegebenen Entwicklers ein Entwicklungsprozess ausgeführt, um ein Resistmuster **50a** auszubilden ([Fig. 8B](#)).

[0241] Dann wurde unter Verwendung des Resistmusters **50a** als Maske die Tantaloxid(TaO)lage **22** durch  $\text{CHF}_3$  als Ätzgas trocken geätzt, um ein Tantaloxid(TaO)lagenmuster **22a** auszubilden ([Fig. 8C](#)).

[0242] Anschließend wurde unter Verwendung des Resistmusters **50a** und des Tantaloxid(TaO)lagenmusters **22a** als Maske die Tantalnitrid(TaN)lage **21** durch  $\text{Cl}_2$  als Ätzgas trocken geätzt, um ein Tantalnitrid(TaN)lagenmuster **21a** auszubilden ([Fig. 8D](#)).

[0243] Dann wurde unter Verwendung des Resistmusters **50a** und des Schichtmusters **20a** auf Tantalbasis (Tantalnitrid(TaN)lagenmuster **21a**/Tantaloxid(TaO)lagenmuster **22a**) als Maske die Ätzmaskenschicht **10** auf Chrombasis trocken geätzt, um ein Ätzmaskenschichtmuster **10a** auf Chrombasis auszubilden ([Fig. 8E](#)). In diesem Fall wurde als Trockenätzgas ein Mischgas aus  $\text{Cl}_2$  und  $\text{O}_2$  ( $\text{Cl}_2:\text{O}_2 = 4:1$ ) verwendet.

[0244] Dann wurde, wie in [Fig. 8F](#) dargestellt, das unnötig gewordene Resistmuster **50a** entfernt, woraufhin ein chemisch verstärktes positives Resist **51** für Elektronenstrahlithografie (einen Belichtungsprozess) (FEP171, hergestellt von FUJIFILM Electronic Materials Co., Ltd.) durch ein Rotationsbeschichtungsverfahren (Spin Coating) erneut in einer Dicke von 150 nm aufgebracht wurde.

[0245] Daraufhin wurde unter Verwendung der Elektronenstrahlithografievorrichtung ein Musterschreibvorgang bezüglich der Resistschicht **51** ausgeführt, woraufhin unter Verwendung eines vorgegebenen Entwicklers ein Entwicklungsprozess ausgeführt wurde, um ein Resistmuster **51a** auszubilden ([Fig. 8G](#)). Hierbei wurde das Resistmuster **51a** an einem Abschnitt ausgebildet, wo das lichtabschirmende Schichtmuster erhalten bleiben sollte.

[0246] Dann wurden unter Verwendung des Ätzmaskenschichtmusters **10a** auf Chrombasis als Maske die Halbton-Phasenverschiebungsschicht **30** und das lichtdurchlässige Substrat **1** nacheinander unter Verwendung eines  $\text{CHF}_3$ -Gas trocken geätzt, um ein Halbton-Phasenverschiebungsschichtmuster **30a** und einen Abtragungsabschnitt **1a** auf dem lichtdurchlässigen Substrat **1** auszubilden und ein Phasenverschiebungsmuster (Phasenverschiebungsabschnitt) zu erhalten ([Fig. 8H](#)). In diesem Fall wurde das lichtdurchlässige Substrat **1** bis zu einer Tiefe geätzt, die dazu geeignet ist, eine Phasendifferenz von  $180^\circ$  als Summe von Phasendifferenzen zu erhalten, die durch das Halbton-Phasenverschiebungsmuster **30a** und den Abtragungsabschnitt **1a** des Substrats (mit einer Tiefe von 96 nm) erhalten wird.

[0247] Während dieses Trockenätzprozesses verschwand das Schichtmuster **20a** auf Tantalbasis (Tantalnitrid(TaN)lagenmuster **21a**/Tantaloxid(TaO)lagenmuster **22a**) durch das Trockenätzen allmählich, und bei Abschluss des Ätzvorgangs für das lichtdurchlässige Substrat **1** verschwand die TaO/TaN-Schicht an einem Abschnitt ohne Resistmuster **51a** vollständig ([Fig. 8H](#)). Dies ist der Fall, weil die Summe (126 nm) aus der Dicke von 30 nm der Halbton-Phasenverschiebungsschicht **30** und der Ätztiefe von 96 nm des lichtdurchlässigen Substrats bezüglich der Gesamtdicke von 33 nm der TaO/TaN-Schicht ausreichend groß ist, so dass die Ätzzeit ausreichend lang ist.

[0248] Dann wurde das Ätzmaskenschichtmuster **10a** an einem Abschnitt ohne Resistmuster **51a** durch Trockenätzen durch ein Mischgas aus  $\text{Cl}_2$  und  $\text{O}_2$  ( $\text{Cl}_2:\text{O}_2 = 4:1$ ) entfernt ([Fig. 8I](#)).

[0249] Daraufhin wurde das Resistmuster **51a** entfernt ([Fig. 8J](#)), woraufhin ein Reinigungsvorgang ausgeführt wurde, wodurch eine Fotomaske **100** erhalten wurde.

[Auswertung]

**[0250]** Die gemäß Beispiel 5 erhaltene Fotomaske wurde analysiert.

**[0251]** Dabei zeigte sich bezüglich der Auflösung des auf der Fotomaske ausgebildeten hochgradig lichtdurchlässigen Phasenverschiebungsabschnitts durch Bereitstellen der Halbton-Phasenverschiebungsschicht und ferner durch Abtragen des Substrats, dass ein Phasenverschiebungsabschnitt von 50 nm auflösbar war.

**[0252]** Gleichzeitig betrug der Lichtdurchlassgrad für ArF-Belichtungslicht am lichtabschirmenden Abschnitt, der durch die Halbton-Phasenverschiebungsschicht **30**, die Ätzmaskenschicht **10** auf Chrombasis und die Schicht **20** auf Tantalbasis gebildet wurde, die stapelförmig aufeinander angeordnet sind, 0,1%, und es konnte eine optische Dichte OD von 3,0 erhalten werden.

**[0253]** Im Herstellungsprozess für die Fotomaske von Beispiel 5 wurde das Resistmuster **50a** entfernt, nachdem das Ätzmaskenschichtmuster **10a** ausgebildet wurde (zwischen den Prozessen von [Fig. 8E](#) und [Fig. 8F](#)). Das Resistmuster **50a** kann jedoch entfernt werden, nachdem das Tantaloxid(TaO)lagenmuster **22a** ausgebildet wurde (zwischen den Prozessen von [Fig. 8C](#) und [Fig. 8D](#)). Außerdem wird die Verarbeitungsgenauigkeit weiter verbessert.

**[0254]** Außerdem wurde im Herstellungsprozess der Fotomaske von Beispiel 5 das Tantaloxid(TaO)lagenmuster **22a** unter Verwendung von  $\text{CHF}_3$  als Ätzgas ausgebildet, woraufhin das Tantalnitrid(TaN)lagenmuster **21a** unter Verwendung von  $\text{Cl}_2$  als Ätzgas ausgebildet wurde, stattdessen können das Tantaloxid(TaO)lagenmuster **22a** und das Tantalnitrid(TaN)lagenmuster **21a** jedoch unter Verwendung von  $\text{CHF}_3$  als Ätzgas kontinuierlich ausgebildet werden

#### Beispiel 6

**[0255]** Beispiel 6 betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines Fotomaskenrohlings zum Herstellen einer Phasenverschiebungsmaske eines Typs, gemäß dem ein Substrat nicht abgetragen wird und ein hochgradig lichtdurchlässiges Phasenverschiebungsabschnittschichtmuster durch Bereitstellen einer hochgradig lichtdurchlässigen Halbton-Phasenverschiebungsschicht ausgebildet wird, und betrifft ferner ein Verfahren zum Herstellen einer Fotomaske.

#### [Verfahren zum Herstellen des Fotomaskenrohlings]

**[0256]** Wie in [Fig. 9A](#) dargestellt ist, wurde unter Verwendung eines synthetischen Quarzsubstrats der Größe 152 mm × 152 mm × 6,35 mm (6 Zoll × 6 Zoll × 0,25 Zoll) als ein lichtdurchlässiges Substrat **1** auf dem lichtdurchlässigen Substrat **1** eine hochgradig lichtdurchlässige Halbton-Phasenverschiebungsschicht **30** in der Form einer laminierten Schicht ausgebildet, die eine aus TaHf hergestellte Lichtdurchlassgradsteuerungslage **31** und eine aus SiON hergestellte Phasensteuerungslage **32** aufweist. Insbesondere wurde unter Verwendung eines TaHf-Targets (Ta:Hf = 80:20 [Atom-%]) und unter Verwendung von Ar als Sputtergas die aus Tantal und Hafnium hergestellte Lage **31** (TaHf-Lage: wobei das Atom-%-Verhältnis von Ta zu Hf in der Lage etwa 80:20 betrug) in einer Dicke von 8 nm ausgebildet, und dann wurde unter Verwendung eines Si-Targets ein reaktiver Sputterprozess in einer Mischgasatmosphäre aus Argon (Ar), Stickstoff ( $\text{N}_2$ ) und Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ) ( $\text{Ar:N}_2:\text{O}_2 = 20:57:23$  [Vol.-%]) ausgeführt, um die SiON-Lage **32** mit einer Dicke von 83 nm auszubilden. In diesem Fall wurden die Dicken der jeweiligen Lagen derart eingestellt, dass veranlasst wurde, dass die Halbton-Phasenverschiebungsschicht **30** für ArF-Belichtungslicht (Wellenlänge 193 nm) eine Phasendifferenz von 180° erzeugt. Der Lichtdurchlassgrad der Halbton-Phasenverschiebungsschicht **30** für ArF-Belichtungslicht (Wellenlänge 193 nm) betrug 20%, d. h. es wurde ein hoher Lichtdurchlassgrad erhalten.

**[0257]** Dann wurde unter Verwendung einer DC-Magnetron-Sputtervorrichtung eine Ätzmaskenschicht **10** auf der Phasenverschiebungsschicht **30** ausgebildet ([Fig. 9A](#)). Insbesondere wurde unter Verwendung eines Chromtargets eine CrOCN-Schicht in einer Dicke von 15 nm unter den folgenden Bedingungen ausgebildet: eingeleitete Gase und Durchflussraten:

Ar: 18 sccm,  
 $\text{CO}_2$ : 18 sccm,  
 $\text{N}_2$ : 10 sccm,  
 Sputterleistung: 1,7 kW.

**[0258]** In diesem Fall wurde die Schichtspannung der CrOCN-Schicht auf einen kleinstmöglichen Wert einge-

stellt (vorzugsweise im Wesentlichen null).

**[0259]** Dann wurde das Substrat **1**, auf dem die Ätzmaskenschicht **10** ausgebildet war, in eine DC-Magnetron-Sputtervorrichtung eingebracht. Nachdem der Innenraum der Sputtervorrichtung auf einen Druck von  $2 \times 10^{-5}$  Pa oder weniger evakuiert war, wurde ein Mischgas aus Xe und N<sub>2</sub> in die Sputtervorrichtung eingeleitet. In diesem Fall wurden die Durchflussrate von Xe und die Durchflussrate von N<sub>2</sub> auf 12,7 sccm bzw. 10 sccm eingestellt. Als Sputtertarget wurde Ta verwendet. Nachdem sich die Gasdurchflussraten stabilisiert hatten, wurde die Leistung einer DC-Leistungsversorgung auf 1,5 kW eingestellt, wodurch eine Tantalnitrid(TaN)lage **21** mit einer Dicke von 14 nm auf der Ätzmaskenschicht **10** ausgebildet wurde (vergl. [Fig. 9A](#)).

**[0260]** Dann wurde, während das Substrat **1**, auf dem die Tantalnitrid(TaN)lage **21** ausgebildet war, in der Sputtervorrichtung verblieb, ein Mischgas, das ein Ar-Gas mit einer Durchflussrate von 90 sccm und ein O<sub>2</sub>-Gas mit einer Durchflussrate von 34,7 sccm enthielt, in die Sputtervorrichtung eingeleitet, woraufhin die Leistung der DC-Leistungsversorgung auf 0,7 kW eingestellt wurde, um eine Tantaloxid(TaO)lage **22** mit einer Dicke von 10 nm auf die Tantalnitrid(TaN)lage **21** aufzubringen ([Fig. 9A](#)).

**[0261]** Auf die vorstehend beschriebene Weise wurde eine lichtabschirmende Schicht **20** auf Tantalbasis ausgebildet, die die Tantalnitrid(TaN)lage **21** und die Tantaloxid(TaO)lage **22** enthält, die stapelförmig aufeinander ausgebildet sind.

**[0262]** Das Reflexionsvermögen (vorderseitige Reflexionsvermögen) einer vom Substrat **1** abgewandten Oberfläche der derart ausgebildeten lichtabschirmenden Schicht **20** betrug für ArF-Belichtungslicht (Wellenlänge 193 nm) 25,9%. Außerdem betrug der Lichtdurchlassgrad für ArF-Belichtungslicht 0,1%. Es wurde eine AES-(Augerelektronenspektroskopie)Analyse ausgeführt, wobei sich ergab, dass der N-Anteil der Tantalnitrid(TaN)lage **21** 23 Atom-% und der O-Anteil der Tantaloxid(TaO)lage **22** 65 Atom-% betrugen.

**[0263]** Der Flächenwiderstand, der für die Probe in der Stufe gemessen wurde, in der die Tantaloxid(TaO)lage **22** ausgebildet war, betrug 185 Ω/□.

#### [Herstellung einer Fotomaske]

**[0264]** Wie in [Fig. 9A](#) dargestellt ist, wurde unter Verwendung eines derart hergestellten Fotomaskenrohlings ein chemisch verstärktes positives Resist **50** für Elektronenstrahlolithografie (einen Belichtungsprozess) (FEP171, hergestellt von FUJIFILM Electronic Materials Co., Ltd.) durch ein Rotationsbeschichtungsverfahren (Spin Coating) in einer Dicke von 150 nm auf der Tantaloxid(TaO)lage **22** aufgebracht.

**[0265]** Dann wurde unter Verwendung einer Elektronenstrahlolithografievorrichtung ein Musterschreibvorgang bezüglich der Resistschicht **50** ausgeführt, und anschließend wurde unter Verwendung eines vorgegebenen Entwicklers ein Entwicklungsprozess ausgeführt, um ein Resistmuster **50a** auszubilden ([Fig. 9B](#)).

**[0266]** Dann wurde unter Verwendung des Resistmusters **50a** als Maske die Tantaloxid(TaO)lage **22** durch CHF<sub>3</sub> als Ätzgas trockengetätzt, um ein Tantaloxid(TaO)lagenmuster **22a** auszubilden ([Fig. 9C](#)).

**[0267]** Anschließend wurde unter Verwendung des Resistmusters **50a** und des Tantaloxid(TaO)lagenmusters **22a** als Maske die Tantalnitrid(TaN)lage **21** durch Cl<sub>2</sub> als Ätzgas trockengetätzt, um ein Tantalnitrid(TaN)lagenmuster **21a** auszubilden ([Fig. 9D](#)).

**[0268]** Dann wurde unter Verwendung des Resistmusters **50a** und des Schichtmusters **20a** auf Tantalbasis (Tantalnitrid(TaN)lagenmuster **21a**/Tantaloxid(TaO)lagenmuster **22a**) als Maske die Ätzmaskenschicht **10** auf Chrombasis trockengetätzt, um ein Ätzmaskenschichtmuster **10a** auf Chrombasis auszubilden ([Fig. 9E](#)). In diesem Fall wurde als Trockenätzgas ein Mischgas aus Cl<sub>2</sub> und O<sub>2</sub> (Cl<sub>2</sub>:O<sub>2</sub> = 4:1) verwendet.

**[0269]** Dann wurde, wie in [Fig. 9F](#) dargestellt, das unnötig gewordene Resistmuster **50a** entfernt, woraufhin ein chemisch verstärktes positives Resist **51** für Elektronenstrahlolithografie (einen Belichtungsprozess) (FEP171, hergestellt von FUJIFILM Electronic Materials Co., Ltd.) durch ein Rotationsbeschichtungsverfahren (Spin Coating) erneut in einer Dicke von 150 nm aufgebracht wurde.

**[0270]** Daraufhin wurde unter Verwendung der Elektronenstrahlolithografievorrichtung ein Musterschreibvorgang bezüglich der Resistschicht **51** ausgeführt, woraufhin unter Verwendung eines vorgegebenen Entwicklers ein Entwicklungsprozess ausgeführt wurde, um ein Resistmuster **51a** auszubilden ([Fig. 9G](#)). Hierbei wurde das



Resistmuster **51a** an einem Abschnitt ausgebildet, wo das lichtabschirmende Schichtmuster erhalten bleiben sollte.

[0271] Dann wurde unter Verwendung des Ätzmaskenschichtmusters **10a** auf Chrombasis als Maske die SiON-Phasensteuerungslage **32** unter Verwendung eines Gases auf Fluorbasis (Mischgas aus  $\text{SF}_6$  und He) als Ätzgas trocken geätzt, um ein SiON-Phasensteuerungslagenmuster **32a** auszubilden (Fig. 9H). Während dieses Trockenätzprozesses verschwand das Schichtmuster **20a** auf Tantalbasis (Tantalnitrid(TaN)lagenmuster **21a**/Tantaloxid(TaO)lagenmuster **22a**) durch das Trockenätzen durch das Gas auf Fluorbasis allmählich, und bei Abschluss des Ätzvorgangs für die SiON-Phasensteuerungslage **32** verschwand die TaO/TaN-Schicht an einem Abschnitt ohne Resistmuster **51a** vollständig (Fig. 9H). Dies ist der Fall, weil die Dicke von 83 nm der SiON-Phasensteuerungslage **32** bezüglich der Gesamtdicke von 24 nm der TaO/TaN-Schicht ausreichend groß ist, so dass die Ätzzeit ausreichend lang ist.

[0272] Dann wurde die TaHf-Lichtdurchlassgradsteuerungslage **31** unter Verwendung des Ätzmaskenschichtmusters **10a** auf Chrombasis und weiterer Strukturen als Maske durch ein  $\text{Cl}_2$ -Gas als Ätzgas trocken geätzt, um ein TaHf-Lichtdurchlassgradsteuerungslagenmuster **31a** auszubilden (Fig. 9I).

[0273] Dann wurde das Ätzmaskenschichtmuster **10a** auf Chrombasis unter Verwendung eines Mischgases aus  $\text{Cl}_2$  und  $\text{O}_2$  ( $\text{Cl}_2:\text{O}_2 = 4:1$ ) als Ätzgas entfernt (Fig. 9J).

[0274] Daraufhin wurde das Resistmuster **51a** entfernt (Fig. 9K), und es wurde ein Reinigungsvorgang ausgeführt, um eine Fotomaske **100** mit einem Phasenverschiebungsschichtmuster (Phasenverschiebungsabschnitt) **30a** mit einer Struktur zu erhalten, gemäß der das TaHf-Lichtdurchlassgradsteuerungslagenmuster **31a** und das SiON-Phasensteuerungslagenmuster **32** stapelförmig aufeinander angeordnet waren.

[Auswertung]

[0275] Die gemäß Beispiel 6 erhaltene Fotomaske wurde analysiert.

[0276] Dabei zeigte sich bezüglich der Auflösung des auf der Fotomaske ausgebildeten Phasenverschiebungsschichtmusters (Phasenverschiebungsabschnitt) **30a**, dass ein Phasenverschiebungsschichtmuster von 50 nm auflösbar war.

[0277] Gleichzeitig betrug der Lichtdurchlassgrad für ArF-Belichtungslicht am lichtabschirmenden Abschnitt, der durch die Halbton-Phasenverschiebungsschicht **30**, die Ätzmaskenschicht **10** auf Chrombasis und die Schicht **20** auf Tantalbasis gebildet wurde, die stapelförmig aufeinander angeordnet sind, 0,1%, und es konnte eine optische Dichte OD von 3,0 erhalten werden.

[0278] Im Herstellungsprozess für die Fotomaske von Beispiel 6 wurde das Resistmuster **50a** entfernt, nachdem das Ätzmaskenschichtmuster **10a** ausgebildet wurde (zwischen den Prozessen von Fig. 9E und Fig. 9F). Das Resistmuster **50a** kann jedoch entfernt werden, nachdem das Tantaloxid(TaO)lagenmuster **22a** ausgebildet wurde (zwischen den Prozessen von Fig. 9C und Fig. 9D). Außerdem wird die Verarbeitungsgenauigkeit weiter verbessert.

[0279] Außerdem wurde im Herstellungsprozess der Fotomaske von Beispiel 6 das Tantaloxid(TaO)lagenmuster **22a** unter Verwendung von  $\text{CHF}_3$  als Ätzgas ausgebildet, woraufhin das Tantalnitrid(TaN)lagenmuster **21a** unter Verwendung von  $\text{Cl}_2$  als Ätzgas ausgebildet wurde, stattdessen können das Tantaloxid(TaO)lagenmuster **22a** und das Tantalnitrid(TaN)lagenmuster **21a** jedoch unter Verwendung von  $\text{CHF}_3$  als Ätzgas kontinuierlich ausgebildet werden.

[0280] Obwohl die vorliegende Erfindung unter Bezug auf spezifische Ausführungsformen und Beispiele beschrieben worden ist, ist der technische Umfang der Erfindung nicht darauf beschränkt. Für Fachleute ist ersichtlich, dass verschiedene Änderungen und Verbesserungen bezüglich den vorstehend beschriebenen Ausführungsformen und Beispielen vorgenommen werden können. Anhand der Inhalte der Patentansprüche ist klar, dass diese Änderungen und Modifikationen und die damit verbundenen Wirkungsweisen innerhalb des technischen Umfangs der Erfindung eingeschlossen sind.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- JP 2008-94139 [\[0001\]](#)
- JP 2007-241136 A [\[0010\]](#)
- JP 2007-241065 A [\[0016\]](#)
- JP 2003-322947 A [\[0075\]](#)



**Patentansprüche**

1. Fotomaskenrohling zum Herstellen einer Phasenverschiebungsmaske mit einem lichtdurchlässigen Substrat, auf dem ein Phasenverschiebungsabschnitt bereitgestellt wird, der dazu geeignet ist, transmittiertem Belichtungslicht eine vorgegebene Phasendifferenz zu verleihen, wobei der Phasenverschiebungsabschnitt ein Abtragungsabschnitt ist, der von einer Oberfläche des lichtdurchlässigen Substrats bis zu einer Abtragtiefe abgetragen wird, die dazu geeignet ist, die vorgegebene Phasendifferenz bezüglich Belichtungslicht zu erzeugen, das an einem Abschnitt durch das lichtdurchlässige Substrat transmittiert wird, in dem der Phasenverschiebungsabschnitt nicht bereitgestellt wird, wobei der Fotomaskenrohling aufweist:  
eine auf einer abtragseitigen Oberfläche des lichtdurchlässigen Substrats angeordnete Ätzmaskenschicht, die aus einem Material hergestellt ist, das durch ein Gas auf Chlorbasis trockenätzbar ist, aber durch ein Gas auf Fluorbasis nicht trockenätzbar ist und mindestens bis zu dem Zeitpunkt als eine Ätzmaske dient, zu dem beim Ausbilden des Abtragungsabschnitts durch Trockenätzen die Abtragtiefe erreicht ist; und  
eine auf einer Oberfläche der Ätzmaskenschicht ausgebildete lichtabschirmende Schicht, die aus einem Material hergestellt ist, das hauptsächlich Tantal enthält, und eine derartige Dicke hat, dass sie während des Trockenätzens zum Ausbilden des Abtragungsabschnitts des lichtdurchlässigen Substrats entfernbar ist.
2. Fotomaskenrohling zum Herstellen einer Phasenverschiebungsmaske mit einem lichtdurchlässigen Substrat, auf dem ein Phasenverschiebungsabschnitt bereitgestellt wird, der dazu geeignet ist, transmittiertem Belichtungslicht eine vorgegebene Phasendifferenz zu verleihen, wobei der Phasenverschiebungsabschnitt eine Phasenverschiebungsschicht ist, die dazu geeignet ist, dem transmittierten Belichtungslicht eine vorgegebene Phasenänderung zu verleihen, wobei der Fotomaskenrohling aufweist:  
eine auf einer Oberfläche der Phasenverschiebungsschicht angeordnete Ätzmaskenschicht, die aus einem Material hergestellt ist, das durch ein Gas auf Chlorbasis trockenätzbar ist, aber durch ein Gas auf Fluorbasis nicht trockenätzbar ist und mindestens bis zu dem Zeitpunkt als Ätzmaske dient, zu dem durch Trockenätzen ein Übertragungsmuster in der Phasenverschiebungsschicht ausgebildet ist, und  
eine auf einer Oberfläche der Ätzmaskenschicht ausgebildete lichtabschirmende Schicht, die aus einem Material hergestellt ist, das hauptsächlich Tantal enthält, und eine derartige Dicke hat, dass sie während des Trockenätzens zum Ausbilden des Übertragungsmusters in der Phasenverschiebungsschicht entfernbar ist.
3. Fotomaskenrohling nach Anspruch 1 oder 2, wobei die lichtabschirmende Schicht aufweist:  
eine lichtabschirmende Lage, die hauptsächlich Tantalnitrid enthält; und  
eine auf einer oberen Fläche der lichtabschirmenden Lage aufgebrachte Antireflexionslage, die hauptsächlich Tantaloxid enthält.
4. Fotomaskenrohling nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Dicke der lichtabschirmenden Schicht 15 nm bis 50 nm beträgt.
5. Fotomaskenrohling nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Ätzmaskenschicht aus einem Material besteht, das hauptsächlich eine der Komponenten Chrom, Chromnitrid, Chromoxid, Chromoxynitrid und Chrom oxycarbonitrid aufweist.
6. Fotomaskenrohling nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Ätzmaskenschicht eine Dicke von 5 nm bis 40 nm aufweist.
7. Fotomaskenrohling nach einem der Ansprüche 2 bis 6, wobei die Phasenverschiebungsschicht aus einem Material hergestellt ist, das hauptsächlich eine der Komponenten Molybdänsilizid, Molybdänsilizidnitrid, Molybdänsilizidoxid und Molybdänsilizidoxynitrid aufweist.
8. Fotomaskenrohling nach einem der Ansprüche 2 bis 6, wobei die Phasenverschiebungsschicht eine Phasensteuerungslage, die aus einem Material besteht, das hauptsächlich Siliziumoxid oder Siliziumoxynitrid enthält, und eine Lichtdurchlassgradsteuerungslage aufweist, die aus einem Material besteht, das hauptsächlich Tantal oder eine Tantal-Hafnium-Legierung enthält.
9. Fotomaske, die unter Verwendung eines Fotomaskenrohlings nach einem der Ansprüche 1 bis 8 hergestellt ist.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

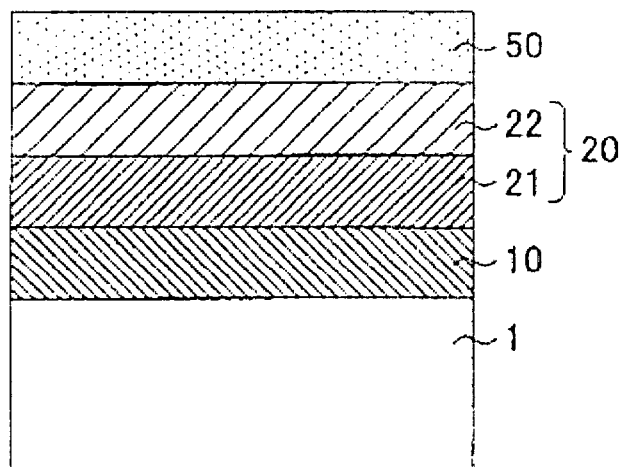


FIG. 1

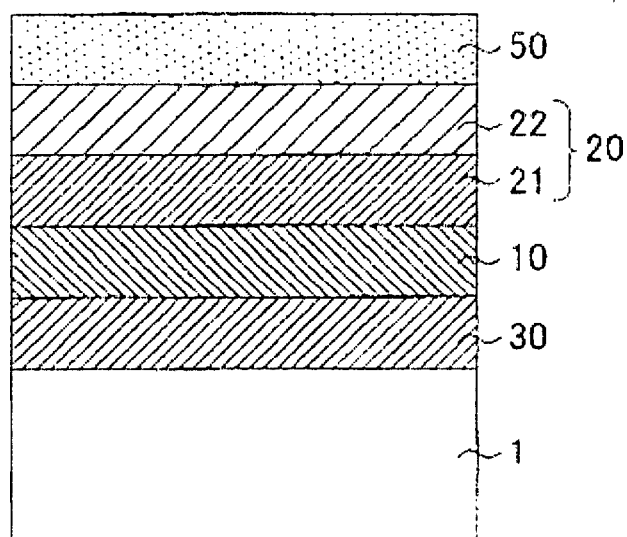


FIG. 2

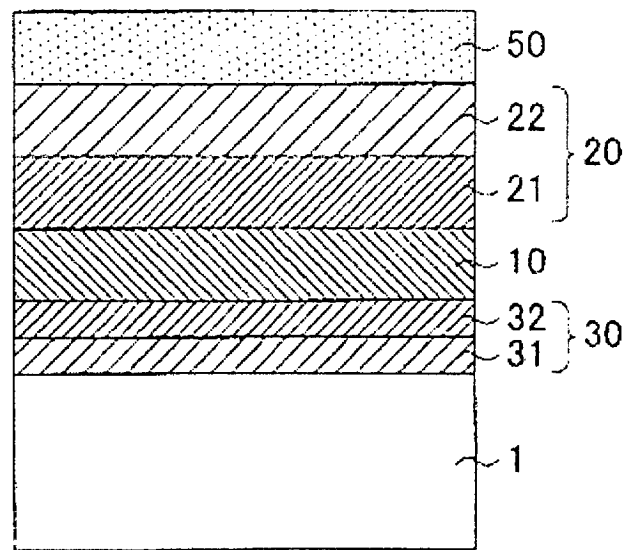
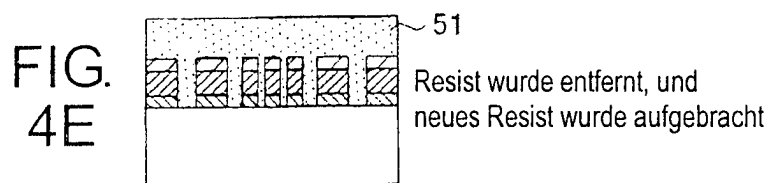
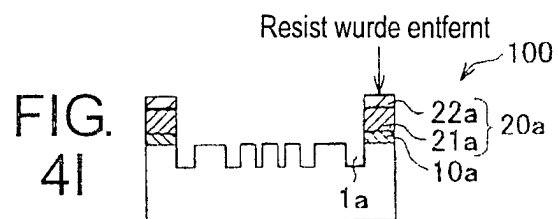
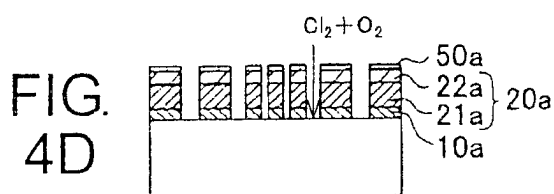
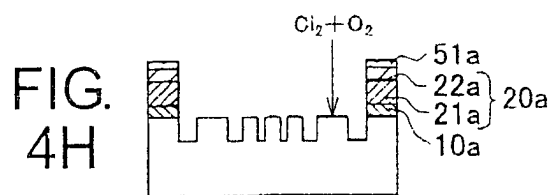
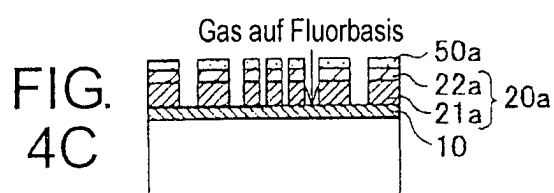
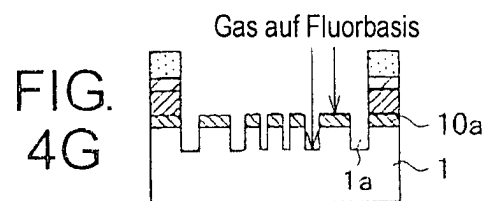
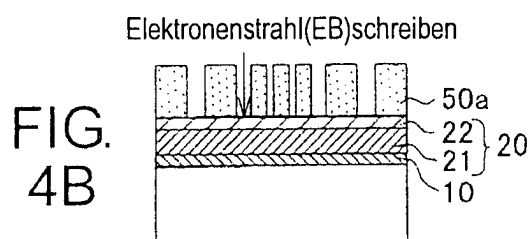
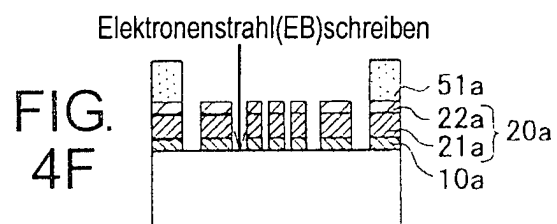
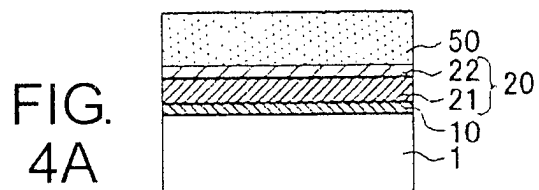
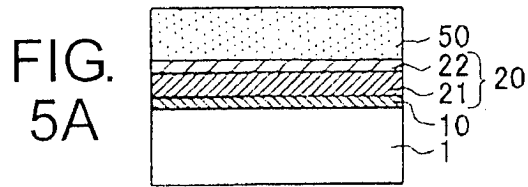
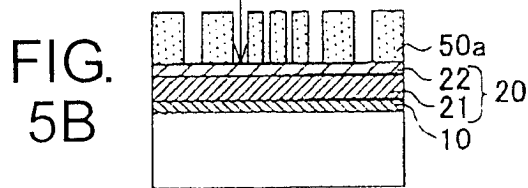


FIG. 3

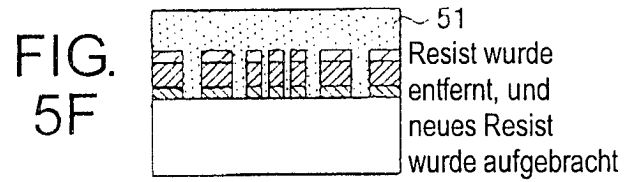
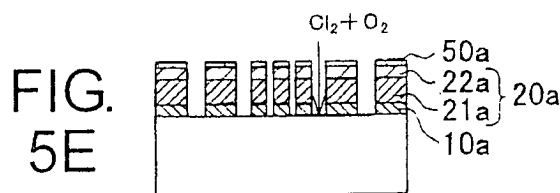
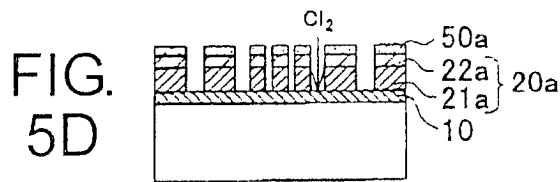
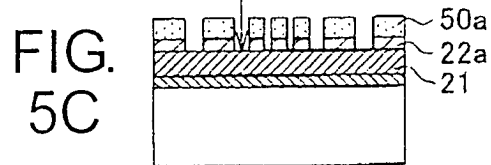




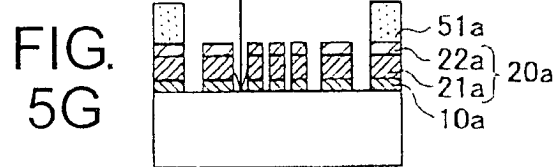
Elektronenstrahl(EB)schreiben



Gas auf Fluorbasis



Elektronenstrahl(EB)schreiben



Gas auf Fluorbasis

