



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 102 43 559 B4** 2007.02.01

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **102 43 559.6**
(22) Anmeldetag: **19.09.2002**
(43) Offenlegungstag: **08.05.2003**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **01.02.2007**

(51) Int Cl.⁸: **G03F 7/20** (2006.01)

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

(30) Unionspriorität:
2001/322598 19.10.2001 JP

(73) Patentinhaber:
**Kabushiki Kaisha Ekisho Sentan Gijutsu Kaihatsu
Center, Yokohama, Kanagawa, JP**

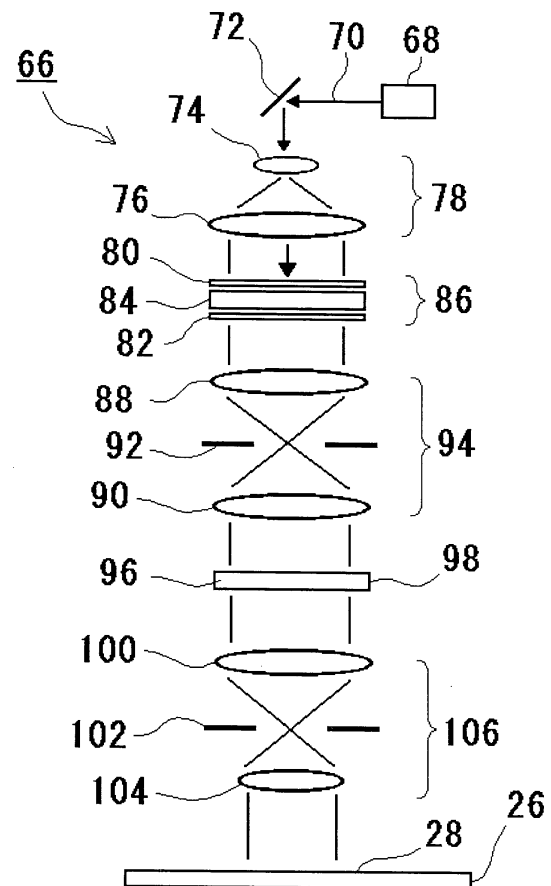
(74) Vertreter:
Samson & Partner, Patentanwälte, 80538 München

(72) Erfinder:
Taniguchi, Yukio, Yokohama, Kanagawa, JP

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
US 55 39 568 A
US 62 91 110 B1
US 62 29 649 B1
WO 99/57 719 A1

(54) Bezeichnung: **Photolithographie-Belichtungsvorrichtung und Photolithographie-Belichtungsverfahren**

(57) Hauptanspruch: Photolithographie-Belichtungsvorrichtung aufweisend:
ein Lichtumwandlungsmittel zum Umwandeln des Lichtes einer Lichtquelle in moduliertes Licht, welches einen amplitudenmodulierten Lichtanteil und einen phasenmodulierten Lichtanteil aufweist, und
ein Abbildungsmittel zum Abbilden des modulierten Lichtanteils auf einer Fläche eines Objektes,
wobei das Lichtumwandlungsmittel einen ersten räumlichen Lichtmodulator zur Amplitudenmodulation von wenigstens einem Teil des Lichtes, welches von der Lichtquelle zugeführt wird, ein erstes optisches Abbildungssystem zum Abbilden des Lichtes, welches in dem ersten räumlichen Lichtmodulator moduliert wird, und einen zweiten räumlichen Lichtmodulator zur Phasenmodulation von wenigstens einem Teil des Lichtes, welches durch das erste optische Abbildungssystem abgebildet wird, aufweist, und
wobei das Abbildungsmittel ein zweites optisches Abbildungssystem zum Abbilden des Lichtes, welches in dem zweiten räumlichen Lichtmodulator moduliert wird, auf der Fläche des Objektes aufweist.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Photolithographie-Belichtungsvorrichtung und ein Photolithographie-Belichtungsverfahren, welche in einem Photolithographieprozeß bei der Herstellung einer integrierten Halbleiterschaltung, einer Flüssigkristallanzeige oder dergleichen verwendet werden.

Stand der Technik

[0002] Zu bekannten optischen Belichtungsvorrichtungen, welche eine optische Belichtung verwenden, gehört eine Belichtungsvorrichtung zum Abbilden einer Belichtungsstruktur auf einer Oberfläche eines belichteten Objekts durch ein optisches Projektionssystem, z. B. eine Linsenprojektion oder eine Spiegelprojektion. Wenn jedoch eine Linienbreite einer Belichtungsstruktur im Bereich der Wellenlänge des zur Belichtung verwendeten Lichtes liegt, wird die Linienbreite aufgrund einer durch die Lichtbeugung bedingten Begrenzung nicht mehr aufgelöst. Um diesem Problem abzuweichen, wurde ein Verfahren bereitgestellt, welches die Auflösung verbessert, indem als Belichtungsmaske eine Phasenschiebermaske mit einer transparenten oder durchscheinenden phasenmodulierenden Schicht (sog. "Phasenschieber"), welche auf einer Maskenbasis ausgebildet ist, verwendet wird, um die Phase des Lichtes in der phasenmodulierenden Schicht zu modulieren, wodurch die Auflösung verbessert wird.

[0003] Ferner ist ein weiteres Belichtungsgerät bekannt, nämlich ein Laserabbildungsgerät, welches ein zu belichtendes Objekt belichtet, während das belichtete Objekt kontinuierlich oder intermittierend an dessen Oberfläche mit einem Laserstrahl entsprechend der aufzuzeichnenden Belichtungsstruktur abgetastet wird. Ferner ist ein Laserabbildungsgerät bekannt, welches einen räumlichen Lichtmodulator zum Modulieren der Amplitude des Lichtes verwendet, um eine Belichtungsstruktur, die in dem räumlichen Lichtmodulator gebildet wird, auf einem belichteten Objekt abzubilden. Auf diese Weise kann eine Belichtungsstruktur gleichzeitig an einer Mehrzahl von Positionen durch den räumlichen Lichtmodulator zur Amplitudenmodulation geschrieben werden, so daß es von Vorteil ist, um das Belichten bzw. Abbilden im Vergleich zum Scannen mit einem einzelnen Strahl zu beschleunigen.

[0004] Bei der zuvor erwähnten Phasenschiebermaske ist es aber notwendig, die phasenmodulierende Schicht mit einer hochgenau bemessenen Dicke auf einer Maskenbasis zu bilden; und falls beispielsweise eine phasenmodulierende Schicht und eine amplitudenmodulierende Schicht eines strukturierten Chromfilms oder dergleichen kombiniert werden, ist es notwendig, die phasenmodulierende Schicht und die amplitudenmodulierende Schicht mit hoher Ge-

nauigkeit zu überlagern. Somit ist es schwieriger, eine Phasenschiebermaske als eine gewöhnliche Belichtungsmaske herzustellen, und die Herstellungskosten sind höher. Überdies ist es notwendig, eine Phasenschiebermaske für jede einzelne Struktur anzufertigen.

[0005] Auch das Laserabbildungsgerät, welches einen räumlichen Lichtmodulator zur Amplitudenmodulation verwendet, kann eine Figur zeichnen, ist jedoch in Bezug auf die Auflösung einem Gerät, welches eine Phasenschiebermaske verwendet, unterlegen.

[0006] In US 6,291,110 B1 wird eine Photolithographie-Belichtungsvorrichtung und ein Photolithographie-Belichtungsverfahren offenbart, bei denen das von einer Lichtquelle kommende Licht durch einen räumlichen Lichtmodulator in seiner Amplitude moduliert wird und das modulierte Licht danach mittels einer Abbildungsoptik auf ein Substrat abgebildet wird.

[0007] In US 5,539,568 A wird eine Photolithographie-Belichtungsvorrichtung und ein Photolithographie-Belichtungsverfahren offenbart, bei denen das von einer Lichtquelle kommende Licht durch einen räumlichen Lichtmodulator in seiner Phase moduliert und das modulierte Licht danach mittels einer Abbildungsoptik auf ein Substrat abgebildet wird.

[0008] Optische Belichtungsverfahren sind außerdem bekannt aus US 6,229,649 B1 und WO 99/57719 A1.

Aufgabenstellung

[0009] Die vorliegende Erfindung zielt darauf ab, eine verbesserte Photolithographie-Belichtungsvorrichtung und ein verbessertes Photolithographie-Belichtungsverfahren bereitzustellen. Bevorzugt ist es ein Ziel der vorliegenden Erfindung, eine Photolithographie-Belichtungsvorrichtung und ein Photolithographie-Belichtungsverfahren bereitzustellen, bei welchem eine vorgegebene Auflösung erreicht werden kann, selbst wenn die Linienbreite einer Belichtungsstruktur im Bereich der Wellenlänge eines Belichtungslichtes liegt, und ferner die Belichtungszeit verringert werden kann.

[0010] Die vorliegende Erfindung erreicht dieses Ziel jeweils durch die Gegenstände der unabhängigen Ansprüche. Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den jeweils abhängigen Ansprüchen angegeben. Weitere Aspekte der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung und den Zeichnungen.

[0011] Die Erfindung stellt auf diese Weise eine Photolithographie-Belichtungsvorrichtung und ein

Photolithographie-Belichtungsverfahren zur Verfügung, welche geeignet sind, eine Belichtungsstruktur oder dergleichen auszubilden, welche eine Linienbreite aufweist, die im wesentlichen der Wellenlänge des Belichtungslichtes entspricht. Bei einer solchen Belichtungsanordnung und einem entsprechenden Belichtungsverfahren wird bevorzugt modulierte Licht, welches einen amplitudenmodulierten Lichtanteil und einen phasenmodulierten Lichtanteil aufweist, auf einer Fläche eines zu belichtenden Objektes abgebildet. Es wird also beim Aufzeichnen bzw. Schreiben einer Belichtungsstruktur durch Belichten eines Objektes eine Amplitudenmodulation und eine Phasenmodulation gleichzeitig durchgeführt, wodurch auf einfache Weise eine hohe Auflösung, wie bei einer Phasenschiebermaske, und eine Verringerung der Belichtungszeit erreicht wird. Da es einfach ist, das Maß der Modulation zu steuern, können Modulationen von einer Phase und einer Amplitude ohne weiteres auf einen optimalen Wert eingestellt werden. Ferner besteht grundsätzlich keine Notwendigkeit mehr, bei jeder Veränderung der Belichtungsstruktur die Belichtungsmasken auszutauschen.

[0012] Das Lichtumwandlungsmittel weist bevorzugt auf: einen ersten räumlichen Lichtmodulator zur Amplitudenmodulation von wenigstens einem Teil des Lichtes, welches von der Lichtquelle zugeführt wird; ein erstes optisches Abbildungssystem zum Abbilden des Lichtes, welches in dem ersten räumlichen Lichtmodulator moduliert wird; und einen zweiten räumlichen Lichtmodulator zur Phasenmodulation von wenigstens einem Teil des Lichtes, welches durch das erste optische Abbildungssystem abgebildet wird, wobei das Abbildungsmittel ein zweites optisches Abbildungssystem zum Abbilden des Lichtes, welches in dem zweiten räumlichen Lichtmodulator moduliert wird, auf der Fläche des Objektes aufweist.

[0013] Das Lichtumwandlungsmittel weist ferner bevorzugt auf: einen ersten räumlichen Lichtmodulator zur Phasenmodulation von wenigstens einem Teil des Lichtes, welches durch eine Lichtquelle zugeführt wird; ein erstes optisches Abbildungssystem zum Abbilden des Lichtes, welches in dem ersten räumlichen Lichtmodulator moduliert wird; und einen zweiten räumlichen Lichtmodulator zur Amplitudenmodulation von wenigstens einem Teil des Lichtes, welches durch das erste optische Abbildungssystem abgebildet wird, wobei das Abbildungsmittel ein zweites optisches Abbildungssystem zum Abbilden des Lichtes, welches in dem zweiten räumlichen Lichtmodulator moduliert wird, auf der Fläche des Objektes aufweist.

[0014] Das Lichtumwandlungsmittel weist ferner bevorzugt auf: ein Lichtteilmittel zum optischen Aufteilen des Lichtes, welches durch die Lichtquelle zugeführt wird, in einen ersten Lichtanteil und einen zweiten Lichtanteil; einen ersten räumlichen Lichtmo-

dulator zur Amplitudenmodulation von wenigstens einem Teil des ersten Lichtanteils; einen zweiten räumlichen Lichtmodulator zur Phasenmodulation von wenigstens einem Teil des zweiten Lichtanteils; und ein Lichtmischmittel zum optischen Zusammenführen eines Lichts, welches in dem ersten räumlichen Lichtmodulator moduliert wird, und eines Lichts, welches in dem zweiten räumlichen Lichtmodulator moduliert wird, wobei das Abbildungsmittel ein optisches Abbildungssystem zum Abbilden eines Lichts, welches durch das Lichtmischmittel zusammengeführt wurde, auf der Fläche des Objektes.

[0015] Der räumliche Lichtmodulator zur Amplitudenmodulation umfaßt bevorzugt eine Polarisierungsplatte und ein Flüssigkristallelement zur räumlichen Lichtmodulation. Der räumliche Lichtmodulator zur Phasenmodulation umfaßt bevorzugt ein Flüssigkristallelement zur räumlichen Lichtmodulation.

[0016] Das optische Abbildungssystem zum Bilden einer Abbildung auf der Fläche des Objektes kann vorzugsweise ein optisches Verkleinerungssystem sein.

[0017] Der Umwandlungsschritt umfaßt bevorzugt: Zuführen des Lichtes von der Lichtquelle in einen ersten räumlichen Lichtmodulator zur Amplitudenmodulation von wenigstens einem Teil des Lichtes von der Lichtquelle; Abbilden des Lichtes, welches in dem ersten räumlichen Lichtmodulator moduliert wird, durch ein erstes optisches Abbildungsmittel; und Zuführen des Lichtes, welches durch das erste optische Abbildungssystem abgebildet wird, in einen zweiten räumlichen Lichtmodulator zur Phasenmodulation von wenigstens einem Teil des abgebildeten Lichtes, wobei der Abbildungsschritt ein Abbilden des Lichtes, welches in dem zweiten räumlichen Lichtmodulator moduliert wird, auf der Fläche des Objektes umfaßt.

[0018] Ferner umfaßt der Umwandlungsschritt bevorzugt: Zuführen des Lichtes von der Lichtquelle in einen ersten räumlichen Lichtmodulator zur Phasenmodulation von wenigstens einem Teil des Lichtes von der Lichtquelle; Abbilden des Lichtes, welches in dem ersten räumlichen Lichtmodulator moduliert wird, durch ein erstes optisches Abbildungssystem; und Zuführen des Lichtes, welches durch das erste optische Abbildungssystem abgebildet wird, in einen zweiten räumlichen Lichtmodulator zur Amplitudenmodulation von wenigstens einem Teil des abgebildeten Lichtes, wobei der Abbildungsschritt ein Abbilden des Lichtes, welches in dem zweiten räumlichen Lichtmodulator moduliert wird, auf der Fläche des Objektes umfaßt.

[0019] Ferner umfaßt der Umwandlungsschritt bevorzugt: ein optisches Aufteilen des Lichtes von der Lichtquelle in einen ersten Lichtanteil und einen zweiten Lichtanteil durch ein Lichtteilmittel; Zuführen

des ersten Lichtanteils in einen ersten räumlichen Lichtmodulator zur Amplitudenmodulation von wenigstens einem Teil des ersten Lichtanteils; Zuführen des zweiten Lichtanteils in einen zweiten räumlichen Lichtmodulator zur Phasenmodulation von wenigstens einem Teil des zweiten Lichtanteils; und ein optisches Zusammenführen des Lichtes, welches in dem ersten räumlichen Lichtmodulator moduliert wird, und des Lichtes, welches in dem zweiten räumlichen Lichtmodulator wird, durch ein Lichtmischmittel, wobei der Abbildungsschritt ein Abbilden des Lichtes, welches durch das Lichtmischmittel zusammengeführt wird, auf der Fläche des Objektes umfaßt.

[0020] Des weiteren wird bei dem Belichtungsverfahren nach der vorliegenden Erfindung eine endgültige Belichtungsstruktur durch Abbilden des modulierten Lichtes auf der Fläche des Objektes gebildet, wenn das modulierte Licht kontinuierlich oder intermittierend abgetastet wird, wobei die Belichtungsstruktur, welche durch die Lichtumwandlung gebildet wird, und der Ort der zu belichtenden Fläche des Objektes verändert wird.

[0021] Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Daraus ergeben sich auch weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung. In der Zeichnung zeigen, jeweils schematisch:

[0022] [Fig. 1](#) eine Ansicht eines ersten Ausführungsbeispiels einer optischen Belichtungsvorrichtung nach der vorliegenden Erfindung;

[0023] [Fig. 2](#) eine Ansicht eines weiteren Ausführungsbeispiels einer optischen Belichtungsvorrichtung nach der vorliegenden Erfindung;

[0024] [Fig. 3](#) eine Ansicht eines weiteren Ausführungsbeispiels einer optischen Belichtungsvorrichtung nach der vorliegenden Erfindung; und

[0025] [Fig. 4\(a\)](#) und [4\(b\)](#) Ansichten von Strukturen, wobei [Fig. 4\(a\)](#) eine Ansicht einer Teststruktur und [Fig. 4\(b\)](#) eine Ansicht einer Teststruktur zum Vergleich darstellt.

Ausführungsbeispiel

[0026] Zunächst wird im Nachfolgenden eine Photolithographie-Belichtungsvorrichtung (optischer "Zeichner") vom Multiplikationstyp, welche einen räumlichen Lichtmodulator zur Amplitudenmodulation und einen räumlichen Lichtmodulator zur Phasenmodulation in Serie optisch kombiniert, und ein entsprechendes Verfahren erläutert.

[0027] In [Fig. 1](#) weist die Photolithographie-Belich-

tungsvorrichtung **10** auf: einen räumlichen Lichtmodulator **14** zur Amplitudenmodulation von wenigstens einem Teil des Lichtes **12**, welches von einer Lichtquelle (nicht gezeigt) zugeführt wird; eine Abbildungslinse **18** zum Abbilden des Lichtes **16**, welches durch den räumlichen Lichtmodulator **14** hindurchtritt; einen räumlichen Lichtmodulator **22** zur Phasenmodulation von wenigstens einem Teil des Lichtes **20**, welches durch die Abbildungslinse **18** abgebildet wird; und eine Abbildungslinse **30** zum Abbilden des Lichtes **24**, welches durch den räumlichen Lichtmodulator **22** hindurchtritt, auf einer Fläche **28** eines zu belichtenden Objektes **26**.

[0028] Als Lichtquelle für die Belichtung wird, wie im Falle einer gewöhnlichen Projektionsbelichtungsvorrichtung, eine i-Linie und eine g-Linie einer Ultrahochdruck-Quecksilberlampe oder verschiedene Typen von Laserlicht verwendet. Daher kann der optische Zeichner bzw. Schreiber **10** als eine Belichtungsvorrichtung verwendet werden.

[0029] Jeder räumliche Lichtmodulator **14**, **22** enthält ein Flüssigkristallelement mit Basiselementen, welche jeweils einem angeordneten Bildelement entsprechen, und wird unter Anwendung von Techniken zur Herstellung einer integrierten Halbleiterschaltung und einer Flüssigkristallanzeige hergestellt.

[0030] Die räumlichen Lichtmodulatoren **14** und **22** werden durch einen Träger (nicht gezeigt) in der Belichtungsvorrichtung **10** so gehalten, daß sie optische in Serie und optisch gekoppelt miteinander angeordnet sind. Es ist erforderlich, daß sich die optische Weglänge zwischen den korrespondierenden Bildelementen des räumlichen Lichtmodulators **14** und des räumlichen Lichtmodulators **22**, d.h. die Phasendifferenz, in Nähe von jedem Bildelement nicht in hohem Maße ändert. Wenn der Abbildungsfehler der Abbildungslinse **18** vernachlässigt werden kann, kann diese Bedingung erreicht werden, indem ein Versatz in Richtung einer optischen Achse zwischen dem räumlichen Lichtmodulator **14** und dem räumlichen Lichtmodulator **22** derart gesteuert wird, daß dieser ausreichend gering im Vergleich zu der Wellenlänge des Belichtungslichtes in der Nähe von jedem Bildelement ist.

[0031] Es sei $T_1(x, y)$ ein komplexer Amplitudentransmissionsgrad in dem räumlichen Lichtmodulator **14** und $T_2(x, y)$ ein komplexer Amplitudentransmissionsgrad in dem räumlichen Lichtmodulator **22**, so wird eine komplexe Amplitude $E(x, y)$ auf der Fläche **28** des Objektes **26** durch nachfolgenden Ausdruck (1) bestimmt:

[Formel 1]

$$E(x, y) = T_1(x, y) T_2(x, y)$$

$$= A_1(x, y) A_2(x, y) \exp(iP_1(x, y) + iP_2(x, y)) \\ \equiv A(x, y) \exp(iP(x, y)) \quad (1)$$

[0032] Dabei sind $T_1(x, y)$ und $T_2(x, y)$ in den folgenden Ausdrücken (2) und (3) definiert:

[Formel 2]

$$T_1(x, y) \equiv A_1(x, y) \exp(iP_1(x, y)) \quad (2)$$

[Formel 3]

$$T_2(x, y) \equiv A_2(x, y) \exp(iP_2(x, y)) \quad (3)$$

[0033] Basierend auf den vorstehenden Ausdrücken (1), (2) und (3) werden die Amplitudenmodifikation (der Transmissionsgrad des Lichtes) und die Phasenmodulation (Phase 0 bis Phase 2π) an der an dem Flüssigkristallelement angelegten Spannung gesteuert, so daß die oben erwähnte Amplitude $A(x, y)$ und Phase $P(x, y)$ der endgültigen Amplitude $A(x, y)$ und Phase $P(x, y)$ an der Fläche **28** des belichteten Objekts **26** entsprechen.

[0034] Selbst wenn der räumliche Lichtmodulator **14** zur Amplitudenmodulation einen Phasenmodulationseffekt und/oder der räumliche Lichtmodulator **22** zur Phasenmodulation einen Amplitudenmodulationseffekt aufweist, können die Werte von $T_1(x, y)$ und $T_2(x, y)$ so gewählt werden, daß die endgültige Amplitude $A(x, y)$ und Phase $P(x, y)$ ideale Werte erreichen.

[0035] Als Abbildungslinse **30** kann entweder eine optische Linse mit einer 1:1 Verstärkung oder eine optische Verkleinerungslinse verwendet werden. Die Größe des Bildelements eines räumlichen Lichtmodulators ist aber im allgemeinen gleich oder größer als mehrere μm , so daß zum Erreichen einer sog. Submikrometer-Auflösung die Verwendung einer optischen Verkleinerungslinse bevorzugt ist. In [Fig. 1](#) sind die Abbildungslinsen **18** und **30** der Einfachheit halber jeweils als eine einzige Linse dargestellt; aber um eine bessere Abbildungsleistung zu erreichen, ist die Verwendung von mehreren Linsen, die miteinander kombiniert sind, bevorzugt.

[0036] In [Fig. 1](#) ist der Fall dargestellt, bei welchem der räumliche Lichtmodulator zur Amplitudenmodulation an der Seite der Lichtquelle und der räumliche Lichtmodulator zur Phasenmodulation an der Seite des belichteten Objektes verwendet wird; jedoch erreicht man das selbe, wenn der räumliche Lichtmodulator zur Phasenmodulation an der Seite der Lichtquelle und der räumliche Lichtmodulator zur Amplitudenmodulation an der Seite des belichteten Objektes angeordnet ist. Ferner können auch andere räumliche Lichtmodulatoren als Flüssigkristallelemente verwendet werden.

[0037] Als nächstes wird eine Photolithographie-Belichtungsvorrichtung vom Additionstyp und ein entsprechendes Verfahren erläutert, bei welchem der räumliche Lichtmodulator zur Amplitudenmodulation und der räumliche Lichtmodulator zur Phasenmodulation optisch parallel miteinander gekoppelt sind.

[0038] In [Fig. 2](#) weist eine Photolithographie-Belichtungsvorrichtung **32** auf: einen Lichtteiler **46** zum optischen Aufteilen des Lichtes **44**, welches von einer Lichtquelle **34** aus durch eine Beleuchtungslinse **38** hindurchtritt, in einen Lichtanteil **42** und einen Lichtanteil **44**; einen räumlichen Lichtmodulator **48** zur Amplitudenmodulation von wenigstens einem Teil des Lichtanteils **42**; einen räumlichen Lichtmodulator **50** zur Phasenmodulation von wenigstens einem Teil des Lichtanteils **44**; einen Lichtmischer **56** zum optischen Kombinieren des Lichtes **52**, welches durch den räumlichen Lichtmodulator **58** hindurchtritt, und des Lichtes **54**, welches durch den räumlichen Lichtmodulator **50** hindurchtritt; und eine Abbildungslinse **60** zum Abbilden eines kombinierten Lichtes **58** auf der Fläche **28** des Objektes **26**.

[0039] Ferner ist ein Spiegel **62** vorgesehen, welcher den Lichtanteil **42** reflektiert und von dem Lichtteiler **46** zu dem räumlichen Lichtmodulator **58** führt, und ein Spiegel **64**, welcher den Lichtanteil **44** reflektiert und von dem Lichtteiler **46** zu dem räumlichen Lichtmodulator **50** führt.

[0040] Als Lichtquelle zur Belichtung kann, wie bei einem gewöhnlichen Stepper, ein Laserstrahl, wie etwa eine i-Linie und eine g-Linie jeweils von einer Ultrahochdruck-Quecksilberlampe oder ein ArF-Laser (Wellenlänge = 248 nm), ein KrF-Laser (Wellenlänge = 193 nm) oder dergleichen verwendet werden.

[0041] Jeder der räumlichen Lichtmodulatoren **48**, **50** enthält Flüssigkristallelemente mit Basiselementen, welche jeweils einem angeordneten Bildelement entsprechen, und sie werden unter Verwendung einer Technik zur Herstellung einer integrierten Halbleiterschaltung und einer Flüssigkristallanzeige gefertigt.

[0042] Der räumliche Lichtmodulator **48** und der räumliche Lichtmodulator **50** werden in der Belichtungsvorrichtung **32** durch einen Träger (nicht gezeigt) so gehalten, daß sie optisch parallel angeordnet und in Positionen bzw. Bereichen überlappen, welche von dem optischen Abbildungssystem oder der Abbildungslinse **60** erfaßt werden. Da ein Versatz in Richtung der optischen Achse zwischen dem räumlichen Lichtmodulator **14** und dem räumlichen Lichtmodulator **22** eine entsprechende Phasendifferenz verursacht, d. h. eine Differenz zwischen $P_1(x, y)$ und $P_2(x, y)$, hat die Positionierung hochgenau im Vergleich zu einem optischen System vom Multiplikationstyp zu erfolgen.

[0043] Als Lichtteiler **46** und Lichtmischer **56** werden optische Halbspiegelelemente verwendet. Bei der Lichtzusammenführung wird das Licht, welches durch den räumlichen Lichtmodulator **48** hindurchtritt, und das Licht, welches durch den räumlichen Lichtmodulator **50** hindurchtritt, durch den Lichtmischer **56** miteinander überlagert. Da die Polarisationsrichtungen dieselben sind, benötigt man keinen polarisierten Strahlteiler.

[0044] Es wird angenommen, daß der komplexe Amplitudentransmissionsgrad in dem räumlichen Lichtmodulator **48** $T_1(x, y)$ und der komplexe Amplitudentransmissionsgrad in dem räumlichen Lichtmodulator **50** $T_2(x, y)$ ist, so daß eine komplexe Amplitude $E(x, y)$ an der Fläche **28** des Objektes **26** durch den folgenden Ausdruck (4) bestimmt ist:

[Formel 4]

$$\begin{aligned} E(x, y) &= T_1(x, y) T_2(x, y) \\ &= A_1(x, y) \exp(iP_1(x, y)) + A_2(x, y) + (iP_2(x, y)) \\ &\equiv A(x, y) \exp(iP(x, y)) \end{aligned} \quad (4)$$

[0045] Dabei sind $T_1(x, y)$ und $T_2(x, y)$ in den folgenden Ausdrücken (5) und (6) definiert:

[Formel 5]

$$T_1(x, y) \equiv A_1(x, y) \exp(iP_1(x, y)) \quad (5)$$

[Formel 6]

$$T_2(x, y) \equiv A_2(x, y) \exp(iP_2(x, y)) \quad (6)$$

[0046] Basierend auf den vorstehenden Ausdrücken (4), (5) und (6) werden die Amplitudenmodulation (Lichttransmissionsgrad und die Phasenmodulation (Phase 0 bis Phase 2π) an der an den Flüssigkristallelementen anliegenden Spannung gesteuert, so daß die oben erwähnte Amplitude $A(x, y)$ und Phase $P(x, y)$ der endgültigen Amplitude $A(x, y)$ und Phase $P(x, y)$ an der Fläche **28** des belichteten Objektes **26** entspricht.

[0047] Auch in Fällen, wenn der räumliche Lichtmodulator **48** zur Amplitudenmodulation einen Phasenmodulationseffekt und der räumliche Lichtmodulator **50** zur Phasenmodulation einen Amplitudenmodulationseffekt aufweist, ist es ausreichend, die Werte von $T_1(x, y)$ und $T_2(x, y)$ zu wählen, so daß die endgültige Amplitude $A(x, y)$ und Phase $P(x, y)$ einen idealen Wert durch den Ausdruck (4) erreichen können.

[0048] Da die Beträge der Amplitudenmodulation und der Phasenmodulation beliebige Werte annehmen können, können sie bei einem typischen Verfahren auf einen folgenden Zustände eingestellt werden: Lichtdurchlässigkeit (nachfolgend "AUS"), Undurch-

lässigkeit (nachfolgend "EIN") und Halbdurchlässigkeit. Auch bei der Phasenmodulation werden die Phasen so gesteuert, daß keine Verzögerung (nachfolgend "Phase 0" oder "AUS") oder eine Phasenverzögerung um π (nachfolgend "Phase π " oder "EIN") auftritt.

[0049] Folglich können wenigstens vier Fälle, nämlich "Undurchlässigkeit", "Halbdurchlässigkeit und Phase π ", "Durchlässigkeit und Phase 0" und "Durchlässigkeit und Phase π ", für das Bildelement von jedem Flüssigkristallelement als Basiseinheit für die Modulation ausgewählt werden. Durch Kombination dieser Fälle kann eine Wellenfront wie bei einer beliebigen Phasenschiebermaske gebildet werden. Vorliegend entsprechen die Fälle "Undurchlässigkeit", "Durchlässigkeit und Phase 0" und "Durchlässigkeit und Phase π " einer Phasenschiebermaske vom Levenson-Typ, und die Fälle "Halbdurchlässigkeit und Phase π " und "Durchlässigkeit und Phase 0" entsprechen einer Phasenschiebermaske vom Halbton-Typ.

[0050] In [Fig. 2](#) ist der Einfachheit halber eine einzige Linse **60** zum Abbilden von Licht auf der Fläche des Objektes durch Kombinieren des Lichtes, welches durch die räumlichen Lichtmodulatoren **48** und **50** hindurchgetreten ist, dargestellt; aber zur Vermeidung von Abbildungsfehlern kann auch eine Mehrzahl von Linsen verwendet werden. Ferner hat die Verwendung eines bитеlezentrischen und afokalen optischen Systems den Vorteil, daß selbst in Fällen eines Fokusfehlers eine Dimensionsgenauigkeit der Belichtungsstruktur beibehalten und daneben eine gleichmäßige Belichtungsintensität erhalten werden kann.

[0051] Auch kann durch Verwendung eines optischen Beleuchtungssystems nach Köhler, einer Facettenlinse oder dergleichen als optisches Beleuchtungssystem eine gleichmäßige Beleuchtung erhalten werden; und dies ist wünschenswert, weil der Hauptbeleuchtungsstrahl vertikal zu einer Ebene einfallenden Lichts des räumlichen Lichtmodulators auf der gesamten Belichtungsfläche ausgerichtet werden kann. Insbesondere wegen der Verwendung eines Flüssigkristallelements für den räumlichen Lichtmodulator ist eine vertikale Beleuchtung besonders wünschenswert, weil das Flüssigkristallelement die Charakteristik in hohem Maße in Abhängigkeit des Einfallswinkels verändert. Wie bereits erläutert wurde, ist es möglich, anstelle des Flüssigkristallelements vom Transmissionstyp als räumlicher Lichtmodulator andere Elemente zu verwenden, z. B. ein Flüssigkristallelement vom Reflektionstyp, ein Mikrospegelelement oder ähnliche.

[0052] [Fig. 3](#) zeigt das optische System vom Multiplikationstyp noch genauer. Eine Belichtungsvorrichtung **66** umfaßt: eine Lichtquelle **68**; einen Spiegel **72**, welcher ein Licht **70** von der Lichtquelle **68** reflek-

tiert; ein optisches Beleuchtungssystem **78**, welches Beleuchtungslinsen **74**, **76** umfaßt; einen räumlichen Lichtmodulator **86**, welcher Polarisierungsplatten **80**, **82** und ein Flüssigkristallelement **84** umfaßt; ein optisches 1:1-Vergrößerungssystem **94**, welches eine optische Linseneinrichtung aus 1:1-Vergrößerungslinsen **88**, **90** und eine Blendscheibe **92** aufweist; einen räumlichen Lichtmodulator **98**, welcher ein Flüssigkristallelement **96** aufweist; und ein optisches Verkleinerungssystem **106**, welches eine 1:1-Vergrößerungslinse **100**, eine Blende **102** und ein Verkleinerungsglas **104** aufweist.

[0053] Ein Ar-Laser (364 nm) wurde als Lichtquelle verwendet. Dieser Laserstrahl wurde auf einen Parallelstrahl von ungefähr 50 mm im Durchmesser durch eine Strahlerweiterungseinrichtung ausgedehnt.

[0054] Der räumliche Lichtmodulator **86** ist ein räumlicher Lichtmodulator zur Amplitudenmodulation von einfallendem Licht und weist zwei Polarisierungsplatten **80**, **82** auf, welche an beiden Oberflächen eines Flüssigkristallelements **84** von einem durchlässigen drehenden Ausrichtungstyp (transmissive twisted nematic alignment-type, sog. "TN-Ausrichtung") angeordnet sind, wobei sich deren Polarisierungsachsen in einem rechten Winkel zueinander schneiden. Dieser räumliche Lichtmodulator wird als "normalweißer" Typ bezeichnet und zeigt eine nicht-durchlässige Eigenschaft, wenn eine angelegte Spannung an dem Flüssigkristallelement **84** eingeschaltet ("EIN") ist.

[0055] Als Flüssigkristallelement **84** wurde beispielsweise einer mit einer Diagonale von 1,2 Inch (3,048 cm) mit einer Pixelanzahl von 1024×768 und eine Pixelgröße von $25 \mu\text{m}^2$ verwendet. Dieses Flüssigkristallelement wurde mit einer Dicke des Flüssigkristalls von $3,1 \mu\text{m}$ hergestellt, so daß die Phasendifferenz 0 wird, wenn das angelegte Spannungssignal ein- bzw. ausgeschaltet ist.

[0056] Es ist jedoch schwierig, die Phasendifferenz so zu steuern, daß sie vollständig 0 beträgt; und eine geringe Phasendifferenz wird erzeugt. Wie nachstehend erläutert wird, wird diese Phasendifferenz durch einen räumlichen Lichtmodulator zur Phasenmodulation kompensiert.

[0057] Für den räumlichen Lichtmodulator **98**, welcher ein räumlicher Lichtmodulator zur Modulation der Phase eines einfallenden Lichtes ist, wurde ein Flüssigkristallelement von einem homogenen Ausrichtungstyp als Flüssigkristall **96** verwendet. Es ist ein Grundsatz der Phasenmodulation, daß, wenn ein Flüssigkristall mit einem anisotropen Brechungsindex die Richtungen aufgrund eines elektrischen Feldes verändert, sich ein Brechungsindex in Bezug auf ein Licht einer speziellen Polarisierungsrichtung verändert, wodurch sich die Phasen nach der Übertra-

gung durch einen Flüssigkristall mit einer bestimmten Dicke verändern.

[0058] Das Flüssigkristallelement **96** wurde mit einer Brechungsindexanisotropie Δn des Flüssigkristalls von 0,08 und einer Dicke von $3,1 \mu\text{m}$ hergestellt. Unter der Annahme, daß ein Schalter sich vollständig um 90° zwischen einer Aus- und Einschaltung des angelegten Spannungssignals verändert, wird die Phasenmodulation durch folgenden Ausdruck (7) bestimmt, unter dessen Bedingung ein beliebiger Phasenbetrag eingestellt werden kann:

[Formel 7]

$$\begin{aligned} & \text{(Maximale Phasenmodulation)} \\ &= 2\pi \times (\text{Brechungsindexanisotropie } \Delta n) \times (\text{Dicke des Flüssigkristalls}) / (\text{Wellenlänge/Brechungsindex}) \\ &= 2\pi \times 0,008 \times 3,1 \mu\text{m} / (0,364 \mu\text{m}/1,5) \\ &= 2\pi \end{aligned} \quad (7)$$

[0059] Für den räumlichen Lichtmodulator **98** zur Phasenmodulation wurde keine Polarisierungsplatte verwendet, und als Ausrichtung (alignment) des Flüssigkristalls wurde eine homogene Ausrichtung gewählt. Die Dicke des Flüssigkristalls beträgt $3,1 \mu\text{m}$. Dabei erhält die Phasendifferenz einen Betrag von 2π im Falle einer vollständig vertikalen Ausrichtung, wenn die angelegte Spannung eingeschaltet ("EIN") ist. Das Verhältnis zwischen der angelegten Spannung und des Phasenmodulationsbetrages wurde zuvor so erhalten, und zwar indem die EIN/AUS-Steuerung der angelegten Spannung durchgeführt wurde.

[0060] Als optisches Abbildungssystem wurde ein afokales und telezentrisches optisches System mit einem Verkleinerungsverhältnis von 1:100 und einer numerischen Apertur (NA) von 0,18 verwendet. Die Pixelgröße auf der Fläche des belichteten Objektes beträgt $0,25 \mu\text{m}^2$.

[0061] Als Belichtungsstruktur, welche durch Belichtung gezeichnet bzw. geschrieben werden soll, wurde eine Linie und Fläche von $1,0 \mu\text{m}$ (nachfolgend "L und S") vom Shibuya-Levenson-Typ verwendet, um das zu belichtende Objekt zu belichten. Zum Vergleich wurde als Belichtungsstruktur eine L und S Teststruktur von $1,0 \mu\text{m}$ mit lediglich Amplitudenmodulation verwendet, um ein zu belichtendes Objekt zu belichten. Die Strukturen sind jeweils in den **Fig. 4(a)** und **4(b)** dargestellt. Eine Einheitsfläche stellt ein Bildelement des räumlichen Lichtmodulators dar. Die Dimension ist der Wert auf der Bildebene.

[0062] Im Falle der Amplitudenmodulation bedeutet "AUS" eine Durchlässigkeit von Licht und "EIN" eine Undurchlässigkeit. Im Falle der Phasenmodulation bedeutet "AUS", daß die Phase dieselbe ist (Phase 0), und "EIN" bedeutet, daß die Phase um π (Phase

π) verzögert ist. Die Phasenmodulation von einem Teil, bei welchem die Amplitude undurchlässig ist, kann entweder bei "EIN" oder "AUS" auftreten. "EIN" bei der Phase π bedeutet, daß eine Spannung angelegt wurde, bei welcher die Phasenmodulation den Betrag π annimmt. Die Positionen von "EIN" und "AUS" bei der Phase 0 und der Phase π können vertauscht sein.

[0063] Ein Siliziumwafer wurde als Basis eines zu belichtenden Objektes verwendet, wobei ein Photoresist vom Typ THMR-iP5700, hergestellt durch Tokyo Oka Kogyo, auf dem Siliziumwafer bis zu einer Dicke von 1,0 μm aufgetragen wurde. Daher wird in diesem Beispiel der Photoresist als das zu belichtende Objekt angesehen.

[0064] Die Photoresistfläche wurde einer 40 mJ/cm^2 Belichtung ausgesetzt.

[0065] Der belichtete Photoresist wurde sodann entwickelt, um die auf dem Photoresist gebildete Struktur zu beobachten. Bei einer Teststruktur, d.h. der L und S Teststruktur mit nur einer Amplitudenmodulation, wurde zum Vergleich eine Unebenheit in der aufgelösten Linienbreite beobachtet; jedoch wurde bei der L und S Teststruktur vom Shibuya-Levenson-Typ eine gleichmäßige Linienbreite beobachtet, und eine zufriedenstellende Auflösung wurde festgestellt.

[0066] Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die vorstehenden Ausführungsbeispiele beschränkt, sondern kann vielseitig modifiziert werden, ohne den Schutzbereich der Erfindung zu verlassen. Während in dem Ausführungsbeispiel der Shibuya-Levenson-Typ als Beispiel einer Phasenschiebermaske angegeben wurde, kann jeder im allgemeinen für eine Phasenschiebermaske verwendete Typ verwendet werden, beispielsweise vom Hilfsschiebertyp (auxiliary shifter type), Kantenverbesserungstyp (edge enhancement type), Schieberkantengebrauchstyp (shifter edge utilisation type), Mehrfachschiebertyp (multistage shifter type) und Halbtontyp (halftone type).

Patentansprüche

1. Photolithographie-Belichtungsvorrichtung aufweisend:

ein Lichtumwandlungsmittel zum Umwandeln des Lichtes einer Lichtquelle in moduliertes Licht, welches einen amplitudenmodulierten Lichtanteil und einen phasenmodulierten Lichtanteil aufweist, und ein Abbildungsmittel zum Abbilden des modulierten Lichtanteils auf einer Fläche eines Objektes, wobei das Lichtumwandlungsmittel einen ersten räumlichen Lichtmodulator zur Amplitudenmodulation von wenigstens einem Teil des Lichtes, welches von der Lichtquelle zugeführt wird, ein erstes optisches Abbildungssystem zum Abbilden des Lichtes,

welches in dem ersten räumlichen Lichtmodulator moduliert wird, und einen zweiten räumlichen Lichtmodulator zur Phasenmodulation von wenigstens einem Teil des Lichtes, welches durch das erste optische Abbildungssystem abgebildet wird, aufweist, und wobei das Abbildungsmittel ein zweites optisches Abbildungssystem zum Abbilden des Lichtes, welches in dem zweiten räumlichen Lichtmodulator moduliert wird, auf der Fläche des Objektes aufweist.

2. Photolithographie-Belichtungsvorrichtung aufweisend:

ein Lichtumwandlungsmittel zum Umwandeln des Lichtes einer Lichtquelle in moduliertes Licht, welches einen amplitudenmodulierten Lichtanteil und einen phasenmodulierten Lichtanteil aufweist, und ein Abbildungsmittel zum Abbilden des modulierten Lichtes auf einer Fläche eines Objektes, wobei das Lichtumwandlungsmittel aufweist: ein Lichtteilermittel zum optischen Aufteilen des Lichtes, welches durch die Lichtquelle zugeführt wird, in einen ersten Lichtanteil und einen zweiten Lichtanteil; einen ersten räumlichen Lichtmodulator zur Amplitudenmodulation von wenigstens einem Teil des ersten Lichtanteils; einen zweiten räumlichen Lichtmodulator zur Phasenmodulation von wenigstens einem Teil des zweiten Lichtanteils; und ein Lichtmischmittel zum optischen Zusammenführen des Lichts, welches in dem ersten räumlichen Lichtmodulator moduliert wird, und des Lichts, welches in dem zweiten räumlichen Lichtmodulator moduliert wird, wobei das Abbildungsmittel ein optisches Abbildungssystem ist, zum Abbilden des Lichts, welches durch das Lichtmischmittel zusammengeführt wurde, auf der Fläche des Objektes.

3. Belichtungsvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der räumliche Lichtmodulator zur Amplitudenmodulation eine Polarisierungsplatte und ein Flüssigkristallelement zur räumlichen Lichtmodulation aufweist.

4. Belichtungsvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der räumliche Lichtmodulator zur Phasenmodulation ein Flüssigkristallelement zur räumlichen Lichtmodulation aufweist.

5. Belichtungsvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das optische Abbildungssystem zum Abbilden eines Bildes auf der Fläche des Objektes ein optisches Verkleinerungssystem ist.

6. Photolithographie-Belichtungsverfahren, welches folgende Schritte umfaßt:

Umwandeln des Lichtes einer Lichtquelle in ein moduliertes Licht, welches einen amplitudenmodulierten Lichtanteil und einen phasenmodulierten Lichtanteil aufweist; und Abbilden des modulierten Lichtes auf einer Fläche ei-

nes Objektes,
wobei der Umwandlungsschritt umfaßt: Zuführen des Lichtes von der Lichtquelle in einen ersten räumlichen Lichtmodulator zur Amplitudenmodulation von wenigstens einem Teil des Lichtes von der Lichtquelle; Abbilden des Lichtes, welches in dem ersten räumlichen Lichtmodulator moduliert wird, durch ein erstes optisches Abbildungsmittel; und Zuführen des Lichtes, welches durch das erste optische Abbildungssystem abgebildet wird, in einen zweiten räumlichen Lichtmodulator zur Phasenmodulation von wenigstens einem Teil des abgebildeten Lichtes, wobei der Abbildungsschritt ein Abbilden des Lichtes, welches in dem zweiten räumlichen Lichtmodulator moduliert wird, auf der Fläche des Objektes umfaßt.

7. Photolithographie-Belichtungsverfahren, welches folgende Schritte umfaßt:

Umwandeln des Lichtes von einer Lichtquelle in ein moduliertes Licht, welches einen amplitudenmodulierten Lichtanteil und einen phasenmodulierten Lichtanteil aufweist; und

Abbilden des modulierten Lichtes auf einer Fläche eines Objektes,

wobei der Umwandlungsschritt umfaßt: ein optisches Aufteilen des Lichtes von der Lichtquelle in einen ersten Lichtanteil und einen zweiten Lichtanteil durch ein Lichtteilmittel; Zuführen des ersten Lichtanteils in einen ersten räumlichen Lichtmodulator zur Amplitudenmodulation von wenigstens einem Teil des ersten Lichtanteils; Zuführen des zweiten Lichtanteils in einen zweiten räumlichen Lichtmodulator zur Phasenmodulation von wenigstens einem Teil des zweiten Lichtanteils; und ein optisches Zusammenführen des Lichtes, welches in dem ersten räumlichen Lichtmodulator moduliert wird, und des Lichtes, welches in dem zweiten räumlichen Lichtmodulator moduliert wird, durch ein Lichtmischmittel, wobei der Abbildungsschritt ein Abbilden des Lichtes, welches durch das Lichtmischmittel zusammengeführt wird, auf der Fläche des Objektes umfaßt.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß eine endgültige Belichtungsstruktur durch Abbilden des modulierten Lichtes auf der Fläche des zu belichtenden Objektes gebildet wird, während das Objekt kontinuierlich oder intermittierend an dessen Oberfläche mit dem modulierten Licht entsprechend der aufzuzeichnenden Belichtungsstruktur abgetastet wird.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

FIG.1

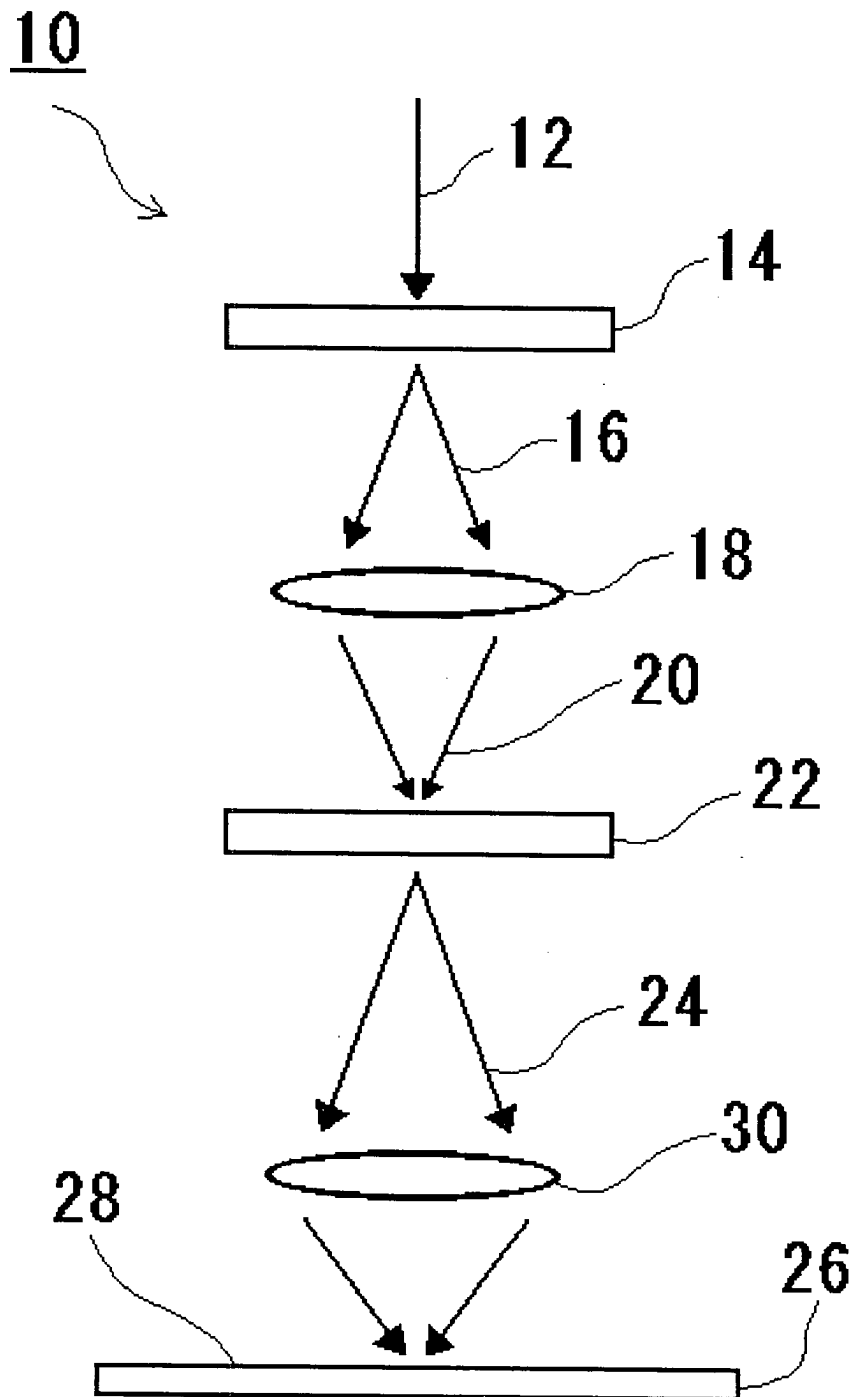


FIG.2

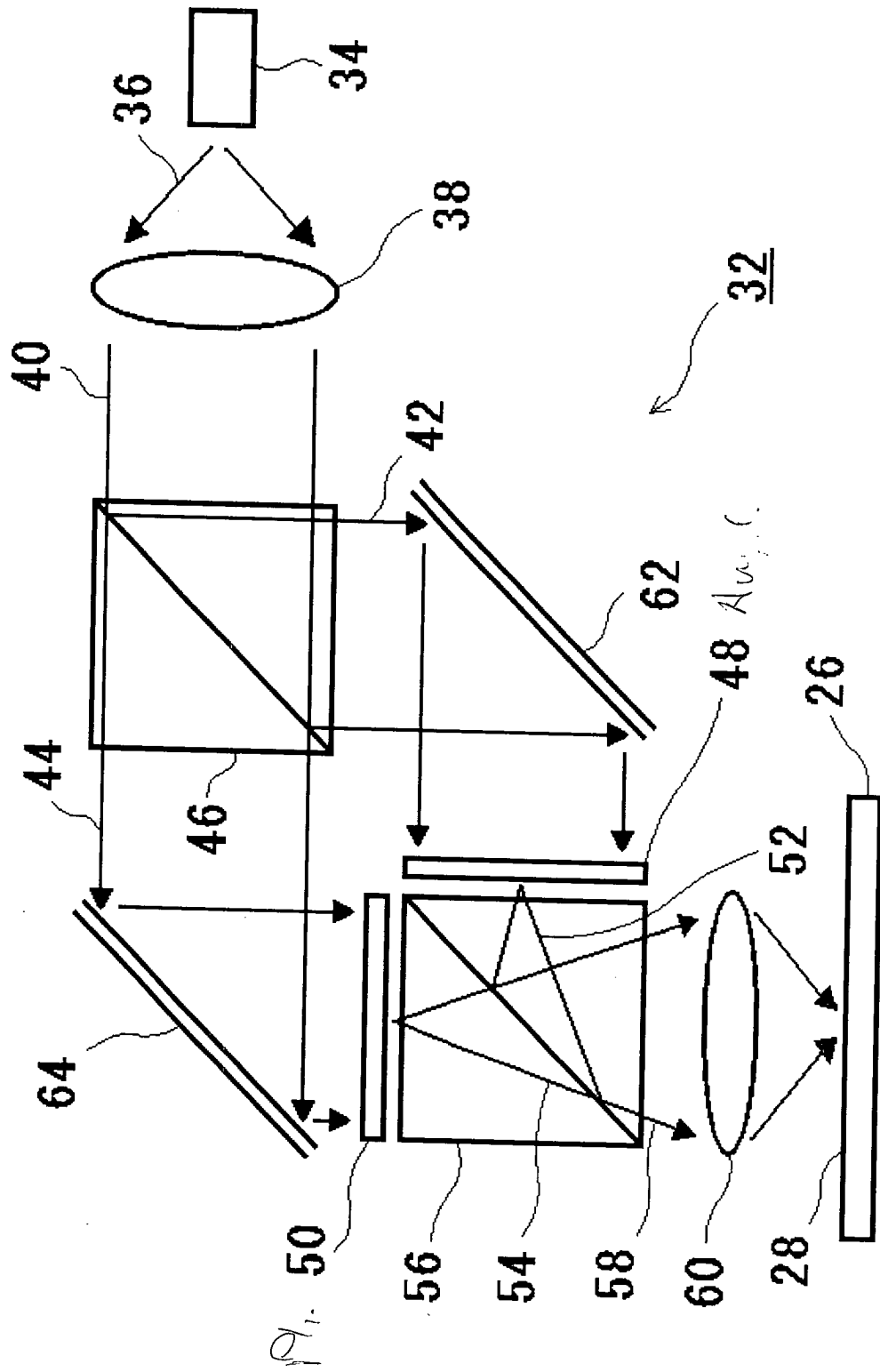


FIG.3

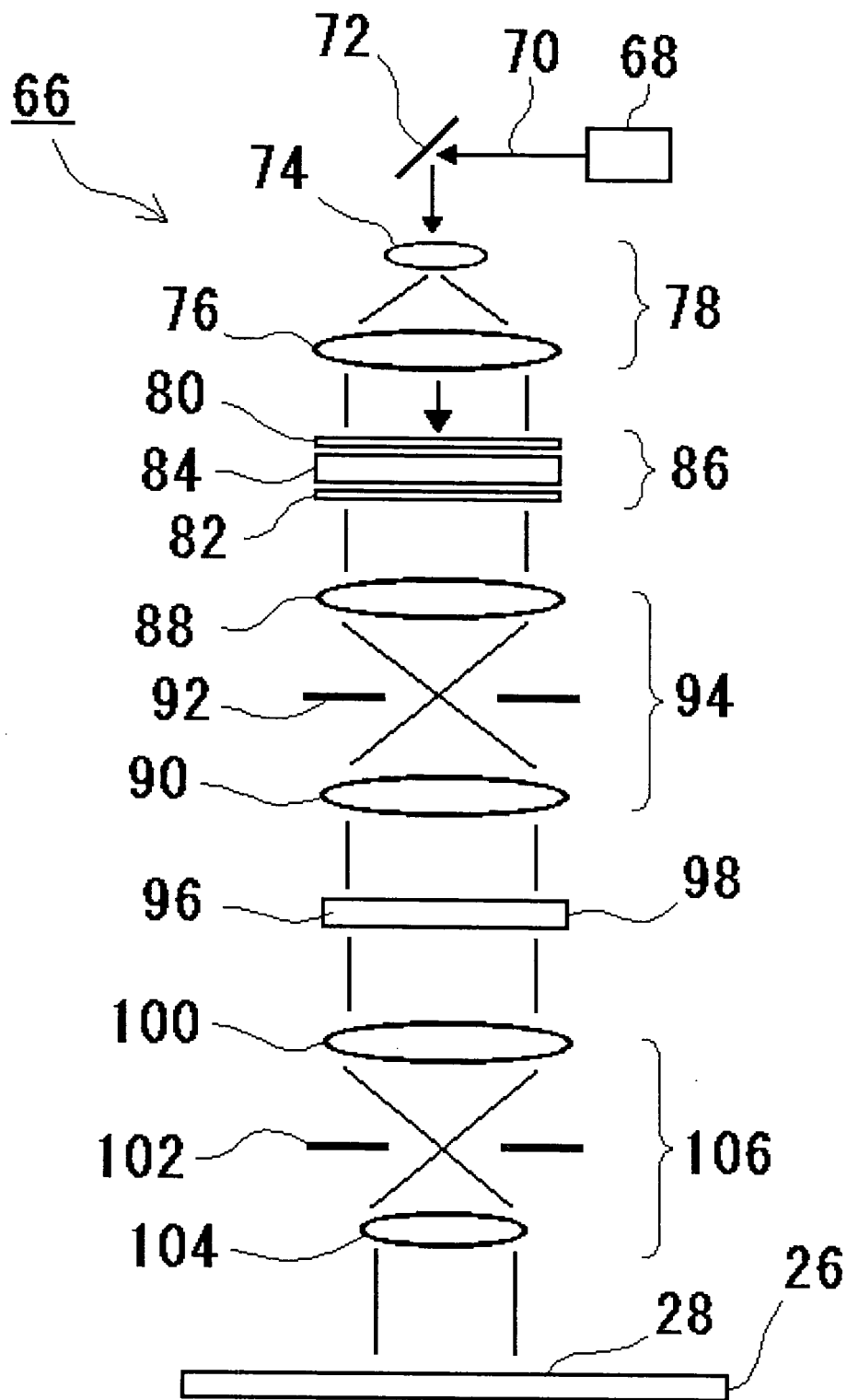


FIG.4 (a)

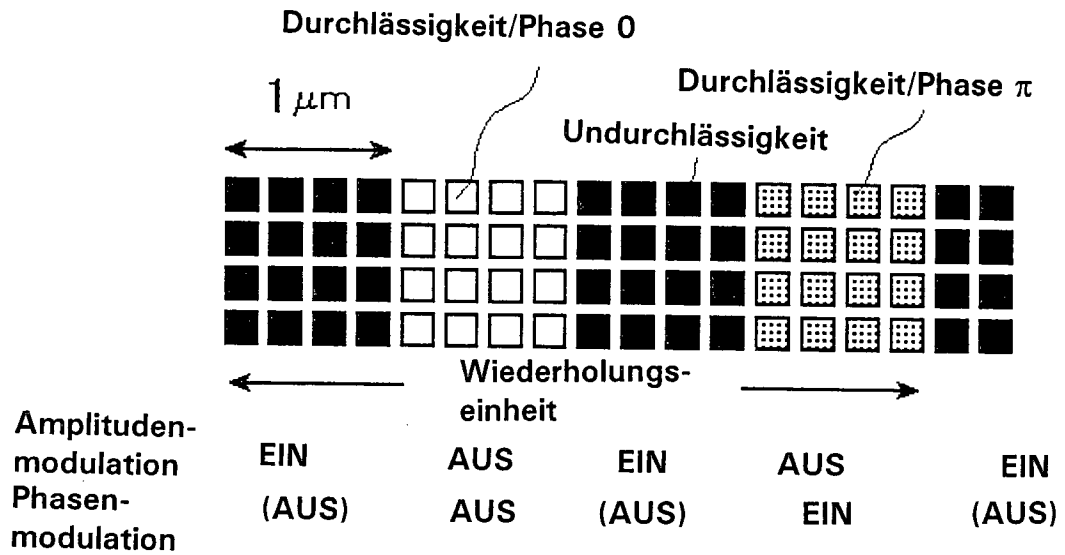


FIG.4 (b)

