



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt



(10) DE 102 43 559 B4 2007.02.01

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 102 43 559.6

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: G03F 7/20 (2006.01)

(22) Anmelddatum: 19.09.2002

(43) Offenlegungstag: 08.05.2003

(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 01.02.2007

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

(72) Erfinder:

Taniguchi, Yukio, Yokohama, Kanagawa, JP

(73) Patentinhaber:

Kabushiki Kaisha Ekisho Sentan Gijutsu Kaihatsu  
Center, 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

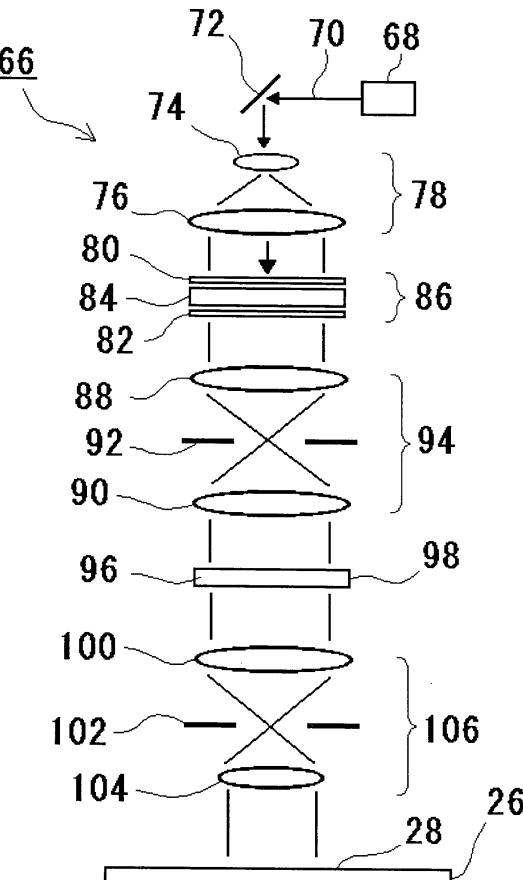
(74) Vertreter:

Samson & Partner, Patentanwälte, 80538 München

(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 Projektionsystem, 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 abzuhelfen, 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 belichtetes 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 eines 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 Belichtungsvorrichtung und einem entsprechenden Belichtungsverfahren wird bevorzugt moduliertes 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 Lichtumandlungsmittel weist ferner bevorzugt auf: ein Lichtteilermittel 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, welcher in dem ersten räumlichen Lichtmodulator moduliert wird, und eines Lichts, welcher 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 Lichtteilermittel; 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 Lichthes **12**, welches von einer Lichtquelle (nicht gezeigt) zugeführt wird; eine Abbildungslinse **18** zum Abbilden des Lichthes **16**, welches durch den räumlichen Lichtmodulator **14** hindurchtritt; einen räumlichen Lichtmodulator **22** zur Phasenmodulation von wenigstens einem Teil des Lichthes **20**, welches durch die Abbildungslinse **18** abgebildet wird; und eine Abbildungslinse **30** zum Abbilden des Lichthes **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]

$$\begin{aligned} E(x, y) \\ = T_1(x, y) T_2(x, y) \end{aligned}$$

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

[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  $2\pi$ ) 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  $\mu\text{m}$ , 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 Halbspiegellelemente 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  $2\pi$ ) 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 folgender 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  $\pi$  (nachfolgend "Phase  $\pi$ " oder "EIN") auftritt.

**[0049]** Folglich können wenigstens vier Fälle, nämlich "Undurchlässigkeit", "Halbdurchlässigkeit und Phase  $\pi$ ", "Durchlässigkeit und Phase 0" und "Durchlässigkeit und Phase  $\pi$ ", 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  $\pi$ " einer Phasenschiebermaske vom Levenson-Typ, und die Fälle "Halbdurchlässigkeit und Phase  $\pi$ " und "Durchlässigkeit und Phase 0" entsprechen einer Phasenschiebermaske vom Halton-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 bitemporalischen 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 Mikrospegelement 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 Blendenscheibe **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  $1024 \times 768$  und einer 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  $\Delta n$  des Flüssigkristalls von 0,08 und einer Dicke von 3,1  $\mu\text{m}$  hergestellt. Unter der Annahme, daß ein Schalter sich vollständig um  $90^\circ$  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]

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

**[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  $2\pi$  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  $\pi$  (Phase

$\pi$ ) verzögert ist. Die Phasenmodulation von einem Teil, bei welchem die Amplitude undurchlässig ist, kann entweder bei "EIN" oder "AUS" auftreten. "EIN" bei der Phase  $\pi$  bedeutet, daß eine Spannung angelegt wurde, bei welcher die Phasenmodulation den Betrag  $\pi$  annimmt. Die Positionen von "EIN" und "AUS" bei der Phase 0 und der Phase  $\pi$  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  $\mu\text{m}$  aufgetragen wurde. Daher wird in diesem Beispiel der Photoresist als das zu belichten- de Objekt angesehen.

**[0064]** Die Photoresistfläche wurde einer 40  $\text{mJ/cm}^2$  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 Amplitudenmo- dulation, 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 festge- stellt.

**[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 auf- weisend:  
ein Lichtumwandlungsmittel zum Umwandeln des Lichtes einer Lichtquelle in moduliertes Licht, wel- ches einen amplitudenmodulierten Lichtanteil und ei- nen phasenmodulierten Lichtanteil aufweist, und  
ein Abbildungsmittel zum Abbilden des modulierten Lichtanteils auf einer Fläche eines Objektes,  
wobei das Lichtumwandlungsmittel einen ersten räumlichen Lichtmodulator zur Amplitudenmodulati- on von wenigstens einem Teil des Lichtes, welches von der Lichtquelle zugeführt wird, ein erstes opti- sches Abbildungssystem zum Abbilden des Lichtes,

welches in dem ersten räumlichen Lichtmodulator moduliert wird, und einen zweiten räumlichen Licht- modulator zur Phasenmodulation von wenigstens ei- nem Teil des Lichtes, welches durch das erste opti- sche Abbildungssystem abgebildet wird, aufweist, und wobei das Abbildungsmittel ein zweites opti- sches Abbildungssystem zum Abbilden des Lichtes, welches in dem zweiten räumlichen Lichtmodulator moduliert wird, auf der Fläche des Objektes aufweist.

2. Photolithographie-Belichtungsvorrichtung auf- weisend:  
ein Lichtumwandlungsmittel zum Umwandeln des Lichtes einer Lichtquelle in moduliertes Licht, wel- ches einen amplitudenmodulierten Lichtanteil und ei- nen 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; ei- nen ersten räumlichen Lichtmodulator zur Amplitu- denmodulation 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 räumli- chen Lichtmodulator moduliert wird, wobei das Abbil- dungsmittel ein optisches Abbildungssystem ist, zum Abbilden des Lichts, welches durch das Lichtmisch- mittel zusammengeführt wurde, auf der Fläche des Objektes.

3. Belichtungsvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der räumliche Licht- modulator zur Amplitudenmodulation eine Polarisie- rungsplatte und ein Flüssigkristallelement zur räumli- chen Lichtmodulation aufweist.

4. Belichtungsvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der räumliche Licht- modulator zur Phasenmodulation ein Flüssigkristalle- element zur räumlichen Lichtmodulation aufweist.

5. Belichtungsvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das optische Abbil- dungssystem zum Abbilden eines Bildes auf der Flä- che des Objektes ein optisches Verkleinerungssys- tem ist.

6. Photolithographie-Belichtungsverfahren, wel- ches folgende Schritte umfaßt:  
Umwandeln des Lichtes einer Lichtquelle in ein mo- duliertes Licht, welches einen amplitudenmodulierten Lichtanteil und einen phasenmodulierten Lichtanteil aufweist; und  
Abilden 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

Abilden 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 Lichtteilermittel; 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

10

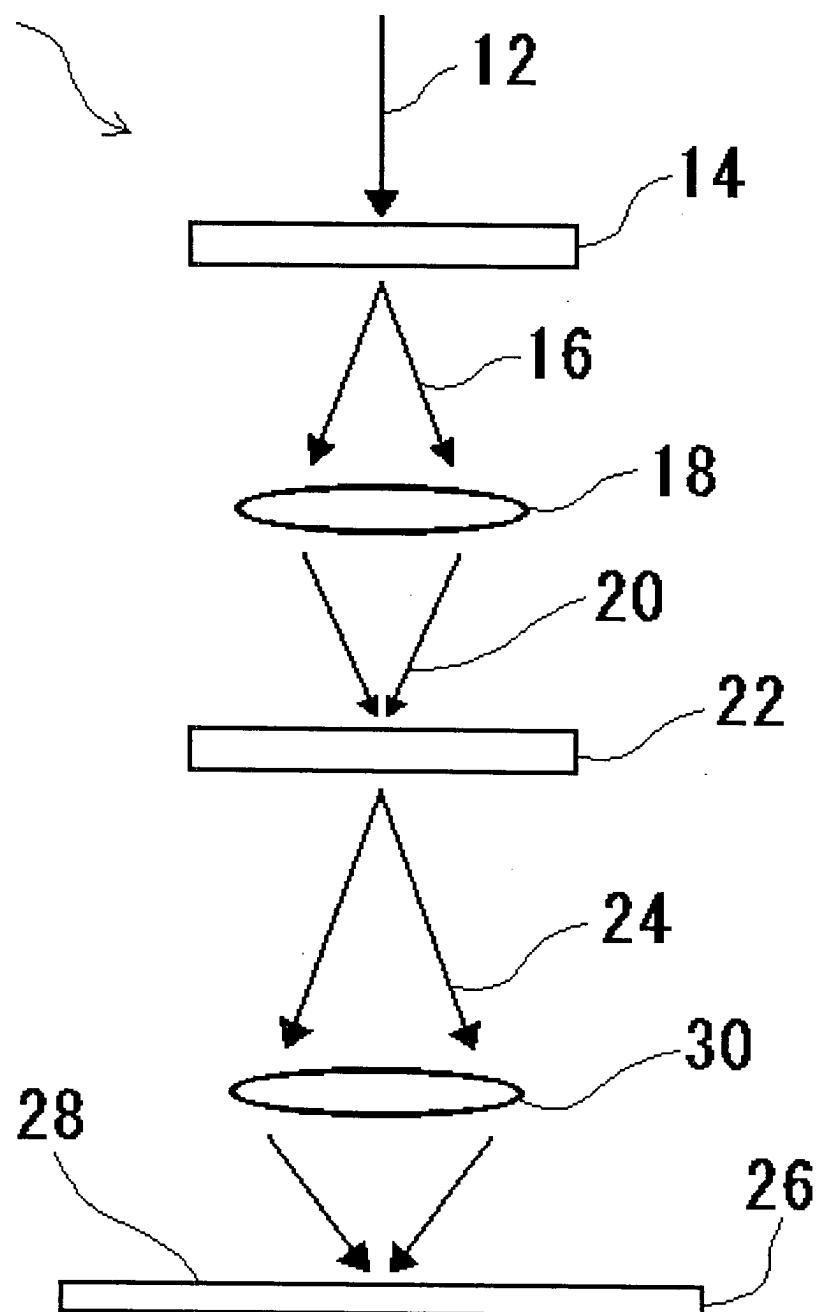


FIG.2

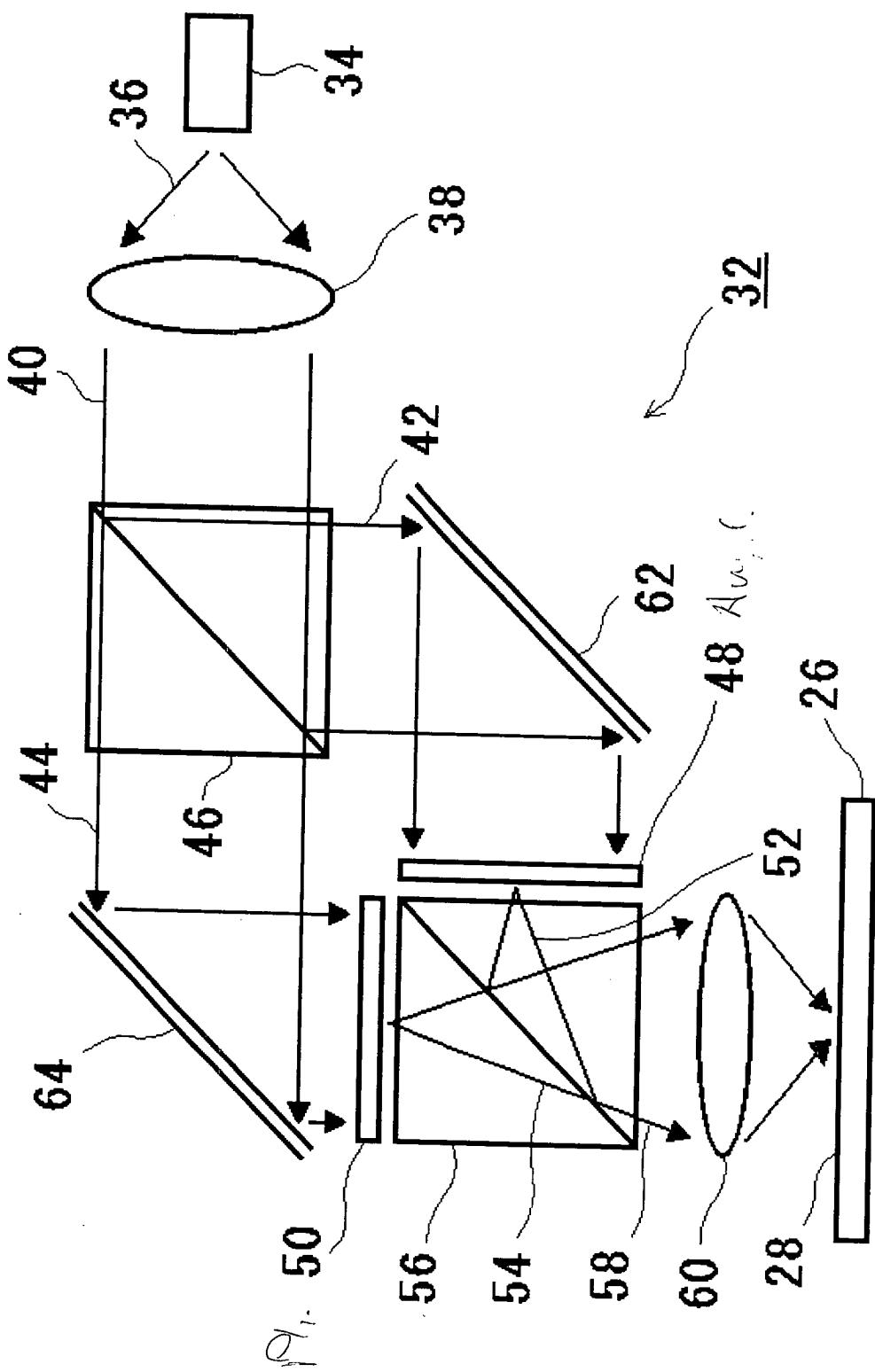
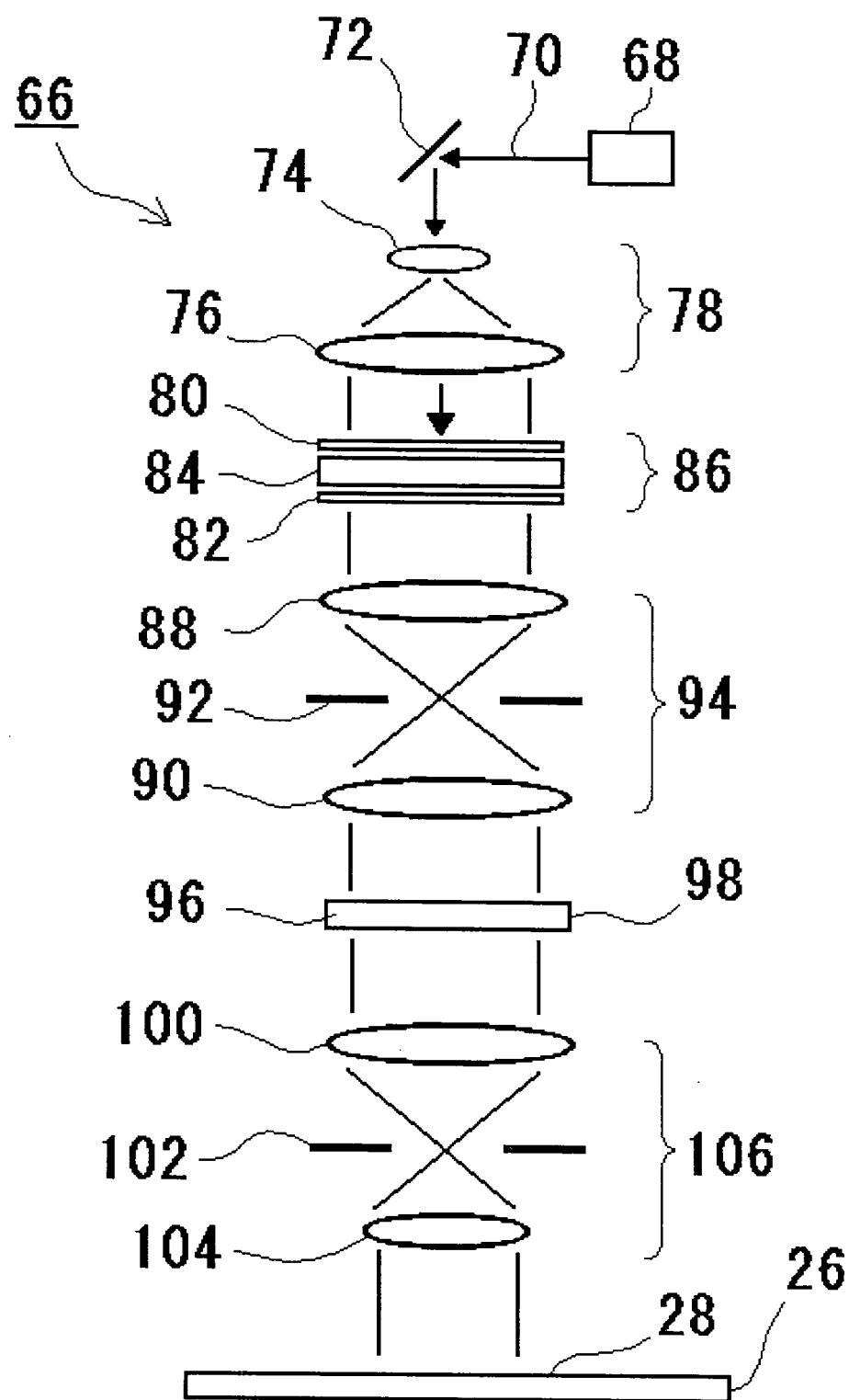
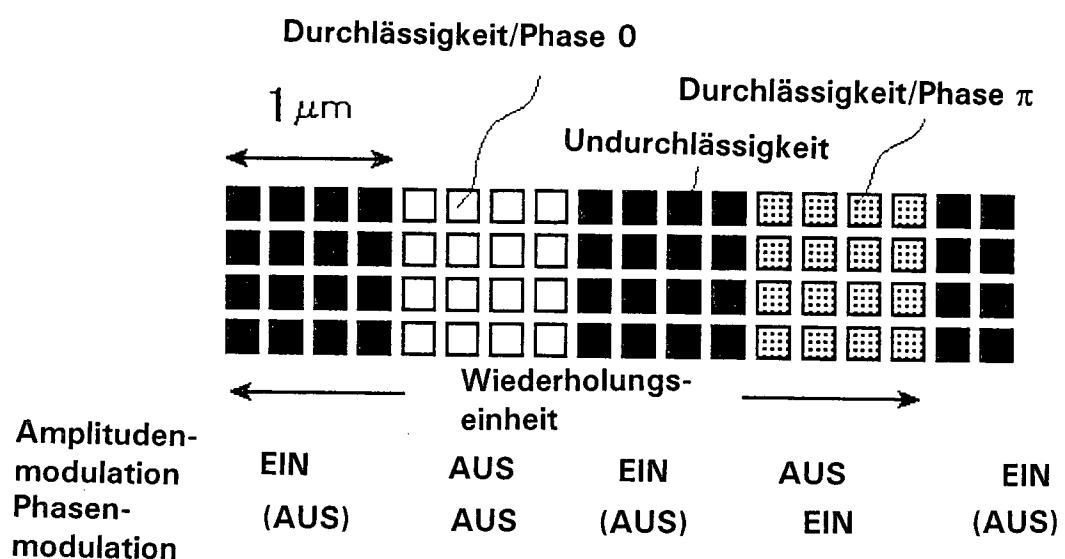


FIG.3



**FIG.4 (a)**



**FIG.4 (b)**

