(19) Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 195 02 827 B4** 2004.07.08

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **195 02 827.9**
(22) Anmeldetag: **30.01.1995**
(43) Offenlegungstag: **10.08.1995**
(45) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: **08.07.2004**

(51) Int Cl.[7]: **G03F 7/20**
**G02B 27/46, G02B 27/18, G03B 27/70**

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(30) Unionspriorität:
**P 6-009867 31.01.1994 JP**

(71) Patentinhaber:
**Mitsubishi Denki K.K., Tokio/Tokyo, JP**

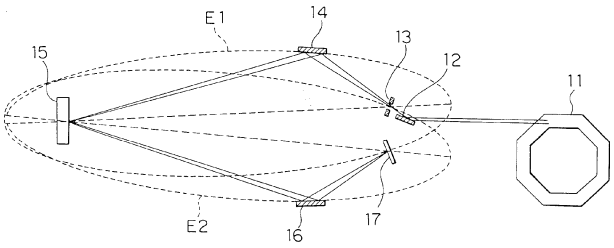
(74) Vertreter:
**Tiedtke, Bühling, Kinne & Partner GbR, 80336 München**

(72) Erfinder:
**Kamon, Kazuya, Itami, Hyogo, JP**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:
**US 52 49 215**
**US 52 22 112**
**EP 06 26 621 A1**
**JP 05-2 83 320 A**
**G. E. Sommargren, L. G. Seppala: Condenser optics, partial coherence, and imaging for soft-x-ray-projection lithography, In: Applied Optics, Vol. 32, Nr. 34, 1. Dez. 1993, S. 6938-6944;**
**K. Kamon et al.: Photolithography System Using Modified Illumination, In: Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 32 (1/1993), Teil 1, Nr. 1A, S. 239-243;**
**K. Kamon et al.: Photolithography System Using Annular Illumination, In: Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 30 (11/1991), Nr. 11B, S. 3021-3029;**
**JP 58-79242 A, in: Pat. Abstr. of Japan, Vol. 7, No. 176 (P-214);**

(54) Bezeichnung: **Projektions-Belichtungsgerät**

(57) Hauptanspruch: Projektionsbelichtungsgerät mit
einer Strahlungsquelle (11) zum Aussenden eines Strahls im Bereich zwischen Röntgenstrahlung und Strahlung im Vakuum-Ultraviolettbereich,
einer Maske (15) der reflektierenden Art, auf der ein Schaltkreismuster abgebildet ist,
einem Wafer (17), der mit dem Schaltkreismuster belichtet wird,
einem optischen Strahlungsquellensystem (12, 22, 32, 42, 52, 62) für einen von der Strahlungsquelle (11) zu einer Blende (13, 23, 33, 43, 53, 63) führenden Strahlengang,
einem optischen Beleuchtungssystem (14; 24, 25a, 26; 34, 35a, 36; 44, 45a, 46; 54, 55a, 56; 64, 65a, 66) für einen von der Blende (13, 23, 33, 43, 53, 63) zur Maske (15) führenden Strahlengang, das die Strahlungsquelle (11) innerhalb des optischen Beleuchtungssystems abbildet und das die Maske (15) mit dem Strahl von dem Bild der Strahlungsquelle als einer sekundären Lichtquellenfläche bestrahlt, und
einem optischen Projektionssystem (16; 25b, 28; 35b, 37, 38; 45b, 47, 48; 55b, 57, 58; 65b,...



## Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Projektions-Belichtungsgerät zur Übertragung feiner Muster auf einen Wafer und insbesondere auf ein Projektions-Belichtungsgerät, das feine Muster unter Verwendung eines Strahls in dem Bereich von dem Röntgenstrahlenbereich bis zu dem Vakuum-Ultraviolettbereich überträgt.

[0002] In letzter Zeit gibt es mit der Entwicklung von Halbleiter-Vorrichtungen mit höheren Packungsdichten einen Bedarf an Projektions-Belichtungsgeräten mit höherer Auflösung, um feinere Schaltkreismuster zu übertragen. Im allgemeinen ist, wie wohlbekannt ist, die Auflösung eines Projektions-Belichtungsgerätes höher, wenn die numerische Apertur des optischen Projektionssystems größer ist, oder wenn die Wellenlänge des Beleuchtungslichts kürzer ist. Wenn jedoch die numerische Apertur erhöht wird, werden die Komponenten mit großem Einfallswinkel in dem Beleuchtungslicht, das auf einen Wafer einfällt, erhöht, und entsprechend wird die Schärfentiefe verringert, was zu einer Beeinträchtigung der Muster-Übertragungsgenauigkeit führt.

[0003] Aus diesem Grund sind viele Versuche gemacht worden, um die Auflösung von Projektions-Belichtungsgeräten zu verbessern, indem man als Beleuchtungslicht einen Strahl aus Strahlen mit kurzer Wellenlänge wie beispielsweise Röntgenstrahlen verwendet. Wenn jedoch die Wellenlänge eines Strahls verringert wird, kann der Strahl in einem Material leichter absorbiert werden. Zum Beispiel ist es in Bezug auf einen Strahl in dem Bereich vom Röntgenstrahlenbereich zum Vakuum-Ultraviolettbereich schwierig, ein optisches Abbildungssystem unter Verwendung von Transmissionslinsen zu verwenden, wie in dem Fall von herkömmlichen Belichtungsgeräten unter Verwendung einer Quecksilberlampe oder dergleichen als Lichtquelle. In solch einem Fall ist es notwendig, ein optisches Abbildungssystem vom Reflexionstyp zu verwenden. Zum Beispiel werden in 63–18626 und 63-312638 optische Abbildungssysteme vom Reflexionstyp zur Übertragung von Maskenmuster auf einen Wafer unter Verwendung von Röntgenstrahlen beschrieben.

[0004] Gewöhnlich aber wird Synchrotron-Strahlung, die als ein Beleuchtungsstrahl verwendet wird, im wesentlichen als eine Punkt-Lichtquelle behandelt. Daher wird die räumliche Kohärenz erhöht. Als ein Ergebnis tritt, wenn feine komplizierte, auf einer Maske gebildete Muster übertragen werden, eine Beeinträchtigung in einem projizierten Bild aufgrund des Einflusses von Interferenz zwischen nebeneinanderliegenden Mustern auf.

### Stand der Technik

[0005] Aus Applied Optics, Bd. 32, Nr. 34, I. Dezember 1993, S. 6938 bis 6944, ist ein Projektionssystem für Röntgenstrahl-Lithographie unter Verwendung von weichen Röntgenstrahlen mit dem Köhlerschen Beleuchtungssystem bekannt. In diesem System werden Spiegel zum Ablenken der Röntgenstrahlen verwendet.

[0006] Die EP-A-0 626 621 als nachveröffentlichter Stand der Technik zeigt ein optisches Beleuchtungssystem, das asymmetrisch zu dem optischen Projektionssystem ist. Auch das Beleuchtungssystem der JP-A-5-283 320 ist asymmetrisch zum Projektionssystem.

[0007] Bei der JP 58-79 242 A sind Maske und Wafer symmetrisch bezüglich eines Spiegels angeordnet. Das optische Projektionssystem ist aber bezüglich der Maske asymmetrisch zum optischen Beleuchtungssystem angeordnet. Ferner ist eine vor das optische Beleuchtungssystem vorgeschaltete Blende bezüglich der Maske asymmetrisch zum Wafer angeordnet.

### Aufgabenstellung

[0008] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Projektionsbelichtungsgerät zu schaffen, bei dem Aberrationen kompensiert sind und das folglich eine verbesserte Bildqualität bietet.

[0009] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Projektionsbelichtungsgerät mit den Merkmalen des Anspruchs 1 oder ein Projektionsbelichtungsgerät mit den Merkmalen des Anspruchs 6 gelöst.

[0010] Erfindungsgemäß ist das optische Beleuchtungssystem zwischen Blende und Maske bezüglich der Maske symmetrisch zum optischen Projektionssystem zwischen Maske und Wafer angeordnet. Außerdem sind die Blende und der Wafer bezüglich der Maske symmetrisch angeordnet.

[0011] Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen definiert.

### Ausführungsbeispiel

[0012] **Fig.** 1 ist ein Diagramm eines ProjektionsBelichtungsgeräts gemäß Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung;

[0013] **Fig.** 2a bis 2c sind Diagramme eines optischen Lichtquellensystems, eines optischen Beleuchtungssystems bzw. eines optischen Projektionssystems von Ausführungsform 1:

[0014] **Fig.** 3 und 4 sind Diagramme von Projektions-Belichtungsgeräten gemäß den Ausführungsformen 2 bzw. 3;

[0015] **Fig.** 5a bis 5c sind Diagramme eines optischen Lichtquellensystems, eines optischen Beleuchtungssystems bzw. eines optischen Projektionssystems von Ausführungsform 3;

[0016] **Fig.** 6 und 7 sind Diagramme von Projektions-Belichtungsgeräten dem Vergleichsbeispiel 4 und der Ausführungsform 5:

[0017] **Fig.** 8a bis 8c sind Diagramme eines optischen Lichtquellensystems, eines optischen Beleuchtungssystems bzw. eines optischen Projekti-

onssystems von Ausführungsform 5;

[0018] **Fig.** 9 und 10 sind Diagramme von Projektions-Belichtungsgeräten gemäß den Ausführungsformen 6 bzw. 7:

[0019] **Fig.** 11a bis 11c sind Diagramme eines optischen Lichtquellensystems, eines optischen Beleuchtungssystems bzw. eines optischen Projektionssystems von Ausführungsform 7:

[0020] **Fig.** 12 und 13 sind Diagramme von Projektions-Belichtungsgeräten gemäß den Ausführungsformen 8 bzw. 9;

[0021] **Fig.** 14a bis 14c sind Diagramme eines optischen Lichtquellensystems, eines optischen Beleuchtungssystems bzw. eines optischen Projektionssystems von Ausführungsform 9;

[0022] **Fig.** 15 und 16 sind Diagramme von Projektions-Belichtungsgeräten dem Vergleichsbeispiel 10 und der Ausführungsform 11;

[0023] **Fig.** 17a bis 17c sind Diagramme eines optischen Lichtquellensystems, eines optischen Beleuchtungssystems bzw. eines optischen Projektionssystems von Ausführungsform 11;

[0024] **Fig.** 18 ist ein Diagramm eines Projektions-Belichtungsgerätes gemäß der Ausführungsform 12;

[0025] **Fig.** 19a bis 19d sind Diagramme von ersten räumlichen Filtern, die jeweils in den Ausführungsformen 13 bis 16 verwendet werden;

[0026] **Fig.** 20a bis 20d sind Diagramme von ersten räumlichen Filtern, die jeweils in den Ausführungsformen 17 bis 20 verwendet werden;

[0027] **Fig.** 21a bis 21d sind Diagramme von Masken vom Reflexionstyp, die jeweils in den Beispielen 21 bis 24 verwendet werden;

[0028] **Fig.** 22a bis 22d sind Diagramme von Masken vom Reflexionstyp, die jeweils in den Beispielen 25 bis 28 verwendet werden;

[0029] **Fig.** 23a und 23b sind Diagramme von zweiten räumlichen Filtern, die jeweils in den Ausführungsformen 29 und 30 verwendet werden; und

[0030] **Fig.** 24a und 24b sind Diagramme von zweiten räumlichen Filtern, die in den Ausführungsformen 31 bzw. 32 verwendet werden.

[0031] Nachstehend werden die bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf die begleitenden Zeichnungen beschrieben.

(Ausführungsform 1)

[0032] **Fig.** 1 zeigt ein Projektions-Belichtungsgerät gemäß Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung. Eine Maske **15** vom Reflexionstyp ist vor einer Strahlungsquelle **11** angeordnet, wobei ein Spiegel **12**, eine Blende **13** und ein Spiegel **14** dazwischen angeordnet sind. Ein Spiegel **16** ist so angeordnet, daß er einen reflektierten Strahl von der Maske **15** vom Reflexionstyp empfängt, und ein Wafer **17** ist so angeordnet, daß er einen reflektierten Strahl von dem Spiegel **16** empfängt. Auf den Wafer **17** zu übertragende Schaltkreismuster sind auf der Maske **15** vom Reflexionstyp gezeichnet.

[0033] Als Strahlungsquelle **11** wird ein Speicherring oder ein Beschleunigungsring eines Elektronenbeschleunigers verwendet, und davon emittierte Synchrotronstrahlung wird als Belichtungsstrahlung verwendet. Wie in **Fig.** 2a veranschaulicht, ist der Spiegel **12** ein parabolischer Spiegel und so angeordnet, daß er einen Strahl von der Strahlungsquelle **11** auf eine Blendenoberfläche der Blende **13** fokussiert.

[0034] Der Spiegel **14** ein ellipsoidischer Spiegel, wie in **Fig.** 2b veranschaulicht, und ist so angeordnet, daß er einen Brennpunkt auf der Blendenoberfläche der Blende **13** und einen weiteren Brennpunkt auf der Maske **15** hat. Das heißt, der Spiegel **14** ist auf einer Ellipse E1 angeordnet, die Brennpunkte an Stellen auf der Blende **13** und der Maske **15** hat. Die Spiegel **12** und **14** bilden ein optisches Beleuchtungssystem und bilden eine sekundäre Lichtquellenoberfläche an einer Stelle auf dem Spiegel **14**. Der Spiegel **14** dient auch als ein erstes räumliches Filter. Wie in **Fig.** 2c veranschaulicht, ist der Spiegel **16** ein ellipsoidischer Spiegel, und er ist so angeordnet, daß er einen Brennpunkt auf der Maske **15** und einen weiteren Brennpunkt auf dem Wafer **7** hat. Das heißt, der Spiegel **16** ist auf einer Ellipse E2 angeordnet, die Brennpunkte an Stellen auf der Maske **15** und dem Wafer **17** hat. Eine Pupillenoberfläche, die der sekundären Lichtquellenoberfläche entspricht, ist an einer Stelle auf dem Spiegel **16** gebildet. Der Spiegel **16** bildet ein optisches Projektionssystem und dient auch als ein zweites räumliches Filter.

[0035] Von der Strahlungsquelle **11** emittierte Synchrotronstrahlung bewegt sich zu der Maske **15** vom Reflexionstyp über den Spiegel **12**, die Blende **13** und den Spiegel **14**. Der von der Maske **15** reflektierte Strahl erreicht den Wafer **17** über den Spiegel **16**. Also werden die auf der Maske **15** gezeichneten Schaltkreismuster auf den Wafer **17** übertragen. Wenn die beleuchtete Fläche auf der Maske **15** klein ist, können die Maske **15** und der Wafer **17** in Synchronisation miteinander gemäß der Vergrößerung abgetastet werden, um die gesamten Muster auf der Maske **15** auf den Wafer **17** zu übertragen.

[0036] Die Stellen, an denen die Spiegel **14** und **16** auf der Ellipse E1 und E2 angeordnet sind, können so ausgewählt sein, daß die Vergrößerung verändert wird. Somit kann ein Röntgenstrahlen-Reduktionsprojektions-Belichtungsgerät verwirklicht werden.

[0037] Das Gerät dieser Ausführungsform hat den Vorteil einer erleichterten Instandhaltung bzw. Handhabung, da das optische Beleuchtungssystem und das optische Projektionssystem voneinander separat sind.

(Ausführungsform 2)

[0038] **Fig.** 3 zeigt ein Projektions-Belichtungsgerät gemäß Ausführungsform 2 der vorliegenden Erfindung. Dieses Gerät ist in solch einer Weise angeord-

net, daß in dem Gerät von Ausführungsform 1 das optische Beleuchtungssystem und das optische Projektionssystem so angeordnet sind, daß sich ihre optischen Wege schneiden, wodurch der von dem gesamten Gerät eingenommene Raum verringert wird. Es ist daher möglich, ein kleineres Projektions-Belichtungsgerät aufzubauen. Es ist bevorzugt, zuerst die Anordnung von Ausführungsform 1 in einem Entwicklungsprozeß anzunehmen, und die Anordnung von Ausführungsform 2 anzunehmen, wenn zufriedenstellende Ergebnisse zugenommen haben.

(Ausführungsform 3)

[0039] **Fig.** 4 zeigt ein Projektions-Belichtungsgerät gemäß Ausführungsform 3 der vorliegenden Erfindung. Ein erstes räumliches Filter **25a** vom Absorptionstyp ist vor einer Strahlungsquelle **11** angeordnet, wobei ein Spiegel **22**, eine Blende **23** und ein Spiegel **24** dazwischen angeordnet sind. Eine Maske **15** vom Reflexionstyp ist vor dem räumlichen Filter **25a** angeordnet, wobei ein Spiegel **26** dazwischen angeordnet ist. Ein Spiegel **27** ist so angeordnet, daß er einen von der Maske **15** vom Reflexionstyp reflektierten Strahl empfängt. Ein Wafer **17** ist vor dem Spiegel **27** angeordnet, wobei ein zweites räumliches Filter **25b** vom Absorptionstyp und ein Spiegel **28** dazwischen angeordnet ist.

[0040] Wie in **Fig.** 5a veranschaulicht, ist der Spiegel **22** ein parabolischer Spiegel und so angeordnet, daß er einen Strahl von der Strahlungsquelle **11** auf eine Blendenoberfläche der Blende **23** fokussiert.

[0041] Wie in **Fig.** 5b veranschaulicht, sind die Spiegel **24** und **26** parabolische Spiegel und sind so angeordnet, daß sie einen Brennpunkt auf der Blendenoberfläche der Blende **23** bzw. einen Brennpunkt auf der Maske **15** haben. Die Spiegel **22**, **24** und **26** und die Blende **23** bilden ein optisches Beleuchtungssystem, und sie bilden auch eine sekundäre Lichtquellenoberfläche an einer Position in dem ersten räumlichen Filter **25a**. Wie in **Fig.** 5c veranschaulicht, sind die Spiegel **27** und **28** parabolische Spiegel und so angeordnet, daß sie Brennpunkte auf der Maske **15** bzw. auf dem Wafer **17** haben. Die Spiegel **27** und **28** bilden ein optisches Projektionssystem, und sie bilden auch eine Pupillenoberfläche, die der sekundären Lichtquellenoberfläche an einer Position in dem zweiten räumlichen Filter **25b** entspricht.

[0042] Von der Strahlungsquelle **11** emittierte Synchrotron-Strahlung bewegt sich zu dem ersten räumlichen Filter **25a** über den Spiegel **22**, die Blende **23** und den Spiegel **24**. Nachdem er durch das erste räumliche Filter **25a** durchgegangen ist, bewegt sich der Strahl zu der Maske **15** vom Reflexionstyp über den Spiegel **26**. Der von der Maske **15** reflektierte Strahl bewegt sich zu dem zweiten räumlichen Filter **25b** über den Spiegel **27**. Nachdem er durch das zweite räumliche Filter **25b** durchgegangen ist, erreicht der Strahl den Wafer **17** über den Spiegel **28**.

[0043] Die Krümmungen und die Anordnungsposition der Spiegel **24** und **26** können so ausgewählt sein, daß die Vergrößerung verändert wird. Auch können die Krümmungen und die Anordnungsposition der Spiegel **27** und **28** so ausgewählt sein, daß die Vergrößerung verändert wird.

[0044] Das Gerät von Ausführungsform 3 ist insofern vorteilhaft, daß der von dem gesamten Gerät belegte Raum verringert werden kann, da das optische Beleuchtungssystem und das optische Projektionssystem so gebildet sind, daß sie einander schneiden.

(Vergleichsbeispiel 4)

[0045] **Fig.** 6 zeigt ein Projektions-Belichtungsgerät einem Vergleichsbeispiel 4. Dieses Gerät ist in solch einer Weise angeordnet, daß in dem Projektions-Belichtungsgerät von Ausführungsform 3 das optische Beleuchtungssystem und das optische Projektionssystem separat voneinander angeordnet sind, wodurch die Instandhaltung bzw. Handhabung erleichtert wird.

(Ausführungsform 5)

[0046] **Fig.** 7 zeigt ein Projektions-Belichtungsgerät gemäß Ausführungsform 5 der vorliegenden Erfindung. Ein erstes räumliches Filter **35a** vom Reflexionstyp ist vor einer Strahlungsquelle **11** angeordnet, wobei ein Spiegel **32**, eine Blende **33** und ein Spiegel **34** dazwischen angeordnet sind. Eine Maske **15** vom Reflexionstyp ist vor dem räumlichen Filter **35a** angeordnet, wobei ein Spiegel **36** dazwischen angeordnet ist. Ein Spiegel **37** ist so angeordnet, daß er einen von der Maske **15** vom Reflexionstyp reflektierten Strahl empfängt. Ein Wafer **17** ist vor dem Spiegel **37** angeordnet, wobei ein zweites räumliches Filter **35b** vom Reflexionstyp und ein Spiegel **38** dazwischen angeordnet sind.

[0047] Wie in **Fig.** 8a veranschaulicht, ist der Spiegel **32** ein parabolischer Spiegel und so angeordnet, daß er einen Strahl von der Strahlungsquelle **11** auf eine Blendenoberfläche der Blende **33** fokussiert.

[0048] Wie in **Fig.** 8b veranschaulicht, sind die Spiegel **34** und **36** parabolische Spiegel und so angeordnet, daß sie einen Brennpunkt auf der Blendenoberfläche der Blende **33** bzw. einen Brennpunkt auf der Maske **15** haben. Die Spiegel **32**, **34** und **36** und die Blende **33** bilden ein optisches Beleuchtungssystem und bilden auch eine sekundäre Lichtquellenoberfläche an einer Position auf dem ersten räumlichen Filter **35a**. Wie in **Fig.** 8c veranschaulicht, sind die Spiegel **37** und **38** parabolische Spiegel und so angeordnet, sie Brennpunkte auf der Maske **15** bzw. dem Wafer **17** haben. Die Spiegel **37** und **38** bilden ein optisches Projektionssystem, und sie bilden auch eine Pupillenoberfläche entsprechend der sekundären Lichtquellenoberfläche an einer Position auf dem zweiten räumlichen Filter **35b**.

[0049] Von der Strahlungsquelle **11** emittierte Synchrotron-Strahlung bewegt sich zu dem ersten räum-

lichen Filter **35a** über den Spiegel **32**, die Blende **33** und den Spiegel **34**. Nachdem er durch das erste räumliche Filter **35a** durchgegangen ist, bewegt sich der Strahl zu der Maske **15** vom Reflexionstyp über den Spiegel **36**. Der von der Maske **15** reflektierte Strahl bewegt sich zu dem zweiten räumlichen Filter **35b** über den Spiegel **37**. Nachdem er von dem zweiten räumlichen Filter **35** reflektiert worden ist, erreicht der Strahl den Wafer **17** über den Spiegel **38**.

[0050] Die Krümmungen und die Anordnungsposition der Spiegel **34** und **36** können so ausgewählt sein, die Vergrößerung verändert wird. Auch können die Krümmungen und die Anordnungsposition der Spiegel **37** und **38** so ausgewählt sein, daß die Vergrößerung verändert wird.

[0051] Das Gerät von Ausführungsform 5 hat den Vorteil einer erleichterten Instandhaltung bzw. Handhabung, da das optische Beleuchtungssystem und das optische Projektionssystem voneinander separat sind.

(Ausführungsform 6)

[0052] **Fig.** 9 zeigt ein Projektions-Belichtungsgerät gemäß Ausführungsform 6 der vorliegenden Erfindung. Dieses Gerät ist in solch einer Weise angeordnet, in dem Projektions-Belichtungsgerät von Ausführungsform 5 das optische Beleuchtungssystem und das optische Projektionssystem so angeordnet sind, ihre optischen Wege einander schneiden, wodurch der von dem gesamten Gerät eingenommene Raum verringert wird. Als ein Ergebnis kann ein kleineres Projektions-Belichtungsgerät aufgebaut werden.

(Ausführungsform 7)

[0053] **Fig.** 10 zeigt ein Projektions-Belichtungsgerät gemäß Ausführungsform 7 der vorliegenden Erfindung. Ein erstes räumliches Filter **45a** vom Reflexionstyp ist vor einer Strahlungsquelle **11** angeordnet, wobei ein Spiegel **42**, eine Blende **43** und ein Spiegel **44** dazwischen angeordnet sind. Eine Maske **15** vom Reflexionstyp ist vor dem räumlichen Filter **45a** angeordnet, wobei ein Spiegel **46** dazwischen angeordnet ist. Ein Spiegel **47** ist so angeordnet, er einen von der Maske **15** vom Reflexionstyp reflektierten Strahl empfängt. Ein Wafer **17** ist vor den Spiegel **47** angeordnet, wobei ein zweites räumliches Filter **45b** vom Reflexionstyp und ein Spiegel **48** dazwischen angeordnet sind.

[0054] Wie in **Fig.** 11a veranschaulicht, ist der Spiegel **42** ein parabolischer Spiegel und ist so angeordnet, daß er einen Strahl von der Strahlungsquelle **11** auf eine Blendenoberfläche der Blende **43** fokussiert.

[0055] Wie in **Fig.** 11b veranschaulicht, sind die Spiegel **44** und **46** parabolische Spiegel und so angeordnet, sie einen Brennpunkt auf der Blendenoberfläche der Blende **43** bzw. einen Brennpunkt auf der Maske **15** haben. Die Spiegel **42**, **44** und **46** und die Blende **43** bilden ein optisches Beleuchtungssystem, und sie bilden auch eine sekundäre Lichtquellenoberfläche an einer Position auf dem ersten räumlichen Filter **45a**. Wie in **Fig.** 11c veranschaulicht, sind die Spiegel **47** und **48** parabolische Spiegel und so angeordnet, daß sie Brennpunkte auf der Maske **15** bzw. auf dem Wafer **17** haben. Die Spiegel **47** und **48** bilden ein optisches Projektionssystem, und sie bilden auch eine Pupillenoberfläche entsprechend der sekundären Lichtquellenoberfläche an einer Position auf dem zweiten räumlichen Filter **45b**.

[0056] Jedes von dem ersten und räumlichen Filter **45a** und **45b** ist aus einem Einkristall gebildet. Zum Beispiel ist die (111)-Ebene eines kubisch-flächenzentrierten Einkristalls aus Si, GaAs oder dergleichen als eine vorderseitige Oberfläche freigelegt, wobei die Maske mit (100)-gebeugtem Licht, d.h. von der Oberfläche reflektiertem Licht bestrahlt wird. Auf diese Weise wird asymmetrisches gebeugtes Licht erhalten, so die vergrößerung ohne eine Aberration verändert werden kann.

[0057] Von der Strahlungsquelle **11** emittierte Synchrotron-Strahlung bewegt sich zu dem ersten räumlichen Filter **45a** über den Spiegel **42**, die Blende **43** und den Spiegel **44**. Nachdem er von dem ersten räumlichen Filter **45a** reflektiert worden ist, bewegt sich der Strahl zu der Maske **15** vom Reflexionstyp über den Spiegel **46**. Der von der Maske **15** reflektierte Strahl bewegt sich zu dem zweiten räumlichen Filter **45b** über den Spiegel **47**. Nachdem er von dem zweiten räumlichen Filter **45b** reflektiert worden ist, erreicht der Strahl den Wafer **17** über den Spiegel **48**.

[0058] Die Krümmungen und die Anordnungspositionen der Spiegel **44** und **46** können so ausgewählt sein, daß die Vergrößerung verändert wird. Auch können die Krümmungen und die Anordnungspositionen der Spiegel **47** und **48** so ausgewählt sein, daß die Vergrößerung verändert wird.

[0059] Das Gerät von Ausführungsform 7 hat den Vorteil einer erleichterten Instandhaltung bzw. Handhabung, da das optische Beleuchtungssystem und das optische Projektionssystem voneinander separat sind.

(Ausführungsform 8 )

[0060] **Fig.** 12 zeigt ein Projektions-Belichtungsgerät gemäß Ausführungsform 8 der vorliegenden Erfindung. Dieses Gerät ist in solch einer Weise angeordnet, in dem Projektions-Belichtungsgerät von Ausführungsform 7 das optische Beleuchtungssystem und das optische Projektionssystem so angeordnet sind, ihre optischen Wege einander schneiden, wodurch der durch das gesamte Gerät belegte Raum verringert wird. Als ein Ergebnis kann ein kleineres Projektions-Belichtungsgerät aufgebaut werden.

(Ausführungsform 9)

[0061] **Fig.** 13 zeigt ein Projektions-Belichtungsgerät gemäß Ausführungsform 9 der vorliegenden Er-

findung. Ein erstes räumliches Filter **55a** vom Absorptionstyp ist vor einer Strahlungsquelle **11** angeordnet, wobei ein Spiegel **52**, eine Blende **53** und ein Spiegel **54** dazwischen angeordnet sind. Eine Maske **15** vom Reflexionstyp ist vor dem räumlichen Filter **55a** angeordnet, wobei ein Spiegel **56** dazwischen angeordnet ist. Ein Spiegel **57** ist so angeordnet, daß er einen von der Maske **15** vom Reflexionstyp reflektierten Strahl empfängt. Ein Wafer **17** ist vor dem Spiegel **57** angeordnet, wobei ein zweites räumliches Filter **55b** vom Absorptionstyp und ein Spiegel **58** dazwischen angeordnet sind.

[0062] Wie in **Fig.** 14a veranschaulicht, ist der Spiegel **52** ein parabolischer Spiegel und so angeordnet, daß er einen Brennpunkt auf einem Krümmungsmagneten eines Beschleunigers, der die Strahlungsquelle **11** darstellt, hat.

[0063] Wie in **Fig.** 14b veranschaulicht, sind die Spiegel **54** und **56** parabolische Spiegel und so angeordnet, daß sie einen Brennpunkt auf einer Blendenoberfläche der Blende **53** bzw. einen Brennpunkt auf der Maske **15** haben. Die Spiegel **52**, **54** und **56** und die Blende **53** bilden ein optisches Beleuchtungssystem, und sie bilden auch eine sekundäre Lichtquellenoberfläche an einer Stelle, die dem ersten räumlichen Filter **55a** entspricht. Wie in **Fig.** 14c veranschaulicht, sind die Spiegel **57** und **58** parabolische Spiegel, und sie sind so angeordnet, sie Brennpunkte auf der Maske **15** bzw. dem Wafer **17** haben. Die Spiegel **57** und **58** bilden ein optisches Projektionssystem, und sie bilden auch eine Pupillenoberfläche, die der sekundären Lichtquellenoberfläche an einer Position auf dem zweiten räumlichen Filter **55b** entspricht.

[0064] Von der Strahlungsquelle **11** emittierte Synchrotron-Strahlung bewegt sich zu dem ersten räumlichen Filter **55a** über den Spiegel **52**, die Blende **53** und den Spiegel **54**. Nachdem er durch das erste räumliche Filter **55a** durchgegangen ist, bewegt sich der Strahl zu der Maske **15** vom Reflexionstyp über den Spiegel **56**. Der von der Maske **15** reflektierte Strahl bewegt sich zu dem zweiten räumlichen Filter **55b** über den Spiegel **57**. Nachdem er durch das zweite räumliche Filter **55b** durchgegangen ist, erreicht der Strahl den Wafer **17** über den Spiegel **58**.

[0065] Die Krümmungen und die Anordnungspositionen der Spiegel **54** und **56** können so ausgewählt sein, daß die Vergrößerung verändert wird. Auch können die Krümmungen und die Anordnungspositionen der Spiegel **57** und **58** so ausgewählt sein, daß die Vergrößerung verändert wird.

[0066] Das Gerät von Ausführungsform 9 ist so angeordnet, daß der Spiegel **52** einen Brennpunkt auf dem Krümmungsmagneten des Beschleunigers hat, der die Strahlungsquelle **11** darstellt, wodurch sichergestellt wird, daß die Synchrotron-Strahlung als ein paralleler Strahl, der auf die Blende **53** auftrifft, emittiert werden kann, selbst, wenn der Abstand zwischen der Strahlungsquelle **11** und der Blende **53** oder dergleichen kurz ist. Das Gerät von Ausführungsform 9 hat auch den Vorteil einer erleichterten Instandhaltung bzw. Handhabung, da das optische Beleuchtungssystem und das optische Projektionssystem einander gegenüber liegen.

(Vergleichsbeispiel 10)

[0067] **Fig.** 15 zeigt ein Projektions-Belichtungsgerät gemäß einem Vergleichsbeispiel 10 der vorliegenden Erfindung. Dieses Gerät ist in solch einer Weise angeordnet, daß in dem Projektions-Belichtungsgerät von Ausführungsform 9 das optische Beleuchtungssystem und das optische Projektionssystem im allgemeinen parallel zueinander gebildet sind, wodurch der durch das gesamte Gerät eingenommene Raum verringert wird.

(Ausführungsform 11)

[0068] **Fig.** 16 zeigt ein Projektions-Belichtungsgerät gemäß Ausführungsform 11 der vorliegenden Erfindung. Ein erstes räumliches Filter **65a** vom Reflexionstyp ist vor einer Strahlungsquelle **11** angeordnet, wobei ein Spiegel **62**, eine Blende **63** und ein Spiegel **64** dazwischen angeordnet sind. Eine Maske **15** vom Reflexionstyp ist vor dem räumlichen Filter **65a** angeordnet, wobei ein Spiegel **66** dazwischen angeordnet ist. Ein Spiegel **67** ist so angeordnet, er einen reflektierten Strahl von der Maske **15** vom Reflexionstyp empfängt. Ein Wafer **17** ist vor dem Spiegel **67** angeordnet, wobei ein zweites räumliches Filter **65b** vom Reflexionstyp und ein Spiegel **68** dazwischen angeordnet sind.

[0069] Wie in **Fig.** 17a veranschaulicht, ist der Spiegel **62** ein parabolischer Spiegel und so angeordnet, er einen Brennpunkt auf einem Krümmungsmagneten eines Beschleunigers hat, der die Strahlungsquelle **11** darstellt.

[0070] Wie in **Fig.** 17b veranschaulicht, sind die Spiegel **64** und **66** parabolische Spiegel und so angeordnet, sie einen Brennpunkt auf einer Blendenoberfläche der Blende **63** bzw. einen Brennpunkt auf der Maske **15** haben. Die Spiegel **62**, **64** und **66** und die Blende **63** bilden ein optisches Beleuchtungssystem, und sie bilden auch eine sekundäre Lichtquellenoberfläche an einer Position auf dem ersten räumlichen Filter **65a**. Wie in **Fig.** 17c veranschaulicht, sind die Spiegel **67** und **68** parabolische Spiegel und so angeordnet, sie Brennpunkte auf der Maske **15** bzw. dem Wafer **17** haben. Die Spiegel **67** und **68** bilden ein optisches Projektionssystem, und sie bilden auch eine Pupillenoberfläche entsprechend der sekundären Lichtquellenoberfläche an einer Position auf dem zweiten räumlichen Filter **65b**.

[0071] Von der Strahlungsquelle **11** emittierte Synchrotron-Strahlung bewegt sich zu dem ersten räumlichen Filter **65a** über den Spiegel **62**, die Blende **63** und den Spiegel **64**. Nachdem er von dem ersten räumlichen Filter **65a** reflektiert worden ist, bewegt sich der Strahl zu der Maske **15** vom Reflexionstyp

über den Spiegel **66**. Der von der Maske **15** reflektierte Strahl bewegt sich zu dem zweiten räumlichen Filter **65b** über den Spiegel **67**. Nachdem er von dem zweiten räumlichen Filter **65** reflektiert worden ist, erreicht der Strahl den Wafer **17** über den Spiegel **68**.

[0072] Die Krümmungen und die Anordnungspositionen der Spiegel **64** und **66** können so ausgewählt sein, daß die Vergrößerung verändert wird. Auch können die Krümmungen und die Anordnungspositionen der Spiegel **67** und **68** so ausgewählt sein, daß die Vergrößerung verändert wird.

[0073] Das Gerät von Ausführungsform 11 ist so angeordnet, daß der Spiegel **62** einen Brennpunkt auf dem Krümmungsmagneten des Beschleunigers hat, der die Strahlungsquelle **11** darstellt, wodurch sichergestellt wird, die Synchrotron-Strahlung als ein paralleler Strahl, der auf die Blende **63** einfällt, emittiert werden kann, selbst, wenn der Abstand zwischen der Strahlungsquelle **11** und der Blende **63** oder dergleichen kurz ist. Das Gerät von Ausführungsform 11 hat auch den Vorteil einer erleichterten Instandhaltung bzw. Handhabung, da das optische Beleuchtungssystem und das optische Projektionssystem einander gegenüberstehen.

(Ausführungsform 12)

[0074] **Fig.** 18 zeigt ein Projektions-Belichtungsgerät gemäß Ausführungsform 12 der vorliegenden Erfindung. Dieses Gerät ist in solch einer Weise angeordnet, daß in dem Projektions-Belichtungsgerät von Ausführungsform 11 das optische Beleuchtungssystem und das optische Projektionssystem im allgemeinen parallel zueinander gebildet sind, wodurch der durch das gesamte Gerät eingenommene Raum verringert wird.

(Ausführungsform 13)

[0075] Die sekundäre Lichtquellenoberfläche des optischen Beleuchtungssystems ist an einer Einfallspupillenposition, wie von der Maske **15** beobachtet. Demgemäß wirkt das erste räumliche Filter, das auf der sekundären Lichtquellenoberfläche angeordnet ist, als ein modifiziertes Beleuchtungsfilter. Verbesserungen der Abbildungseigenschaften, die durch Verwendung von modifizierten Beleuchtungsfiltern erzielt werden, sind in JJAP, Bd. 30 (1991}, S. 3021 bis 3029 und JJAP, Bd. 32 (1991), S. 239 bis 243 beschrieben.

[0076] Eine runde bzw. zirkuläre reflektierende Platte, beispielsweise wie die in **Fig.** 19a gezeigte, kann als der Spiegel **14**, der das erste räumliche Filter der Ausführungsformen 1 und 2, das erste räumliche Filter **35a** oder **45a** der Ausführungsformen 5 bis 8 oder das erste räumliche Filter **65a** der Ausführungsformen 11 und 12 bildet, verwendet werden, wobei eine sekundäre Lichtquellenoberfläche gemäß dem gewöhnlichen Beleuchtungsverfahren gebildet wird. In ähnlicher Weise kann ein rundes Aperturfilter als das erste räumliche Filter **25a** der Ausführungsformen 3 und 4 oder als das erste räumliche Filter **55a** der Ausführungsformen 9 und 10 verwendet werden, wobei eine sekundäre Lichtquellenoberfläche gemäß dem gewöhnlichen Beleuchtungsverfahren gebildet wird.

(Ausführungsform 14)

[0077] Eine reflektierende Platte aus einem ringförmigen Band, beispielsweise wie die in **Fig.** 19d gezeigte, kann als der Spiegel **14**, der das erste räumliche Filter der Ausführungsformen 1 und 2, das erste räumliche Filter **35a** oder **45a** der Ausführungsformen 5 bis 8 oder das erste räumliche Filter **65a** der Ausführungsformen 11 und 12 bildet, verwendet werden, wobei eine sekundäre Lichtquellenoberfläche gemäß einem Beleuchtungsverfahren mit ringförmigem Band gebildet wird. In ähnlicher Weise kann ein Aperturfilter mit ringförmigem Band als das erste räumliche Filter **25a** der Ausführungsform 3 oder das erste räumliche Filter **55a** der Ausführungsform 9 verwendet werden, wobei eine sekundäre Lichtquellenoberfläche gemäß einem Beleuchtungsverfahren mit ringförmigem Band gebildet wird.

(Ausführungsform 15)

[0078] Eine zweigeteilte reflektierende Platte wie beispielsweise die in **Fig.** 19c gezeigte kann als der Spiegel **14** verwendet werden, der das erste räumliche Filter der Ausführungsformen 1 und 2, das erste räumliche Filter **35a** oder **45a** der Ausführungsformen 5 bis 8 oder das erste räumliche Filter **65a** der Ausführungsformen 11 und 12 bildet, wobei eine sekundäre Lichtquellenoberfläche gemäß einem zweigeteilten Beleuchtungsverfahren gebildet wird. In ähnlicher Weise kann ein zweigeteiltes Aperturfilter als das erste räumliche Filter **25a** der Ausführungsform 3 oder das erste räumliche Filter **55a** der Ausführungsform 9 verwendet werden, wobei eine sekundäre Lichtquellenoberfläche gemäß einem zweigeteilten Beleuchtungsverfahren gebildet wird.

(Ausführungsform 16)

[0079] Eine viergeteilte reflektierende Platte wie beispielsweise die in **Fig.** 19d gezeigte kann als der Spiegel **14** verwendet werden, der das erste räumliche Filter der Ausführungsformen 1 und 2, das erste räumliche Filter **35a** oder **45a** der Ausführungsformen 5 bis 8 oder das erste räumliche Filter **65a** der Ausführungsformen 11 und 12 bildet, wobei eine sekundäre Lichtquellenoberfläche gemäß einem viergeteilten Beleuchtungsverfahren gebildet wird. In ähnlicher Weise kann ein viergeteiltes Aperturfilter als das erste räumliche Filter **25a** der Ausführungsform 3 oder das erste räumliche Filter **55a** der Ausführungsform 9 verwendet werden, wobei eine sekundäre Lichtquellenoberfläche gemäß einem viergeteilten Beleuchtungsverfahren gebildet wird.

(Ausführungsform 17)

[0080] Eine reflektierende Platte mit ringförmigem Band mit einem Halbton-Bereich, der aus einem Halbtonfilm **71**, wie in **Fig.** 20a gezeigt, gebildet ist, kann als der Spiegel **14** verwendet werden, der das erste räumliche Filter der Ausführungsformen 1 und 2, das erste räumliche Filter **35a** oder **45a** der Ausführungsformen 5 bis 8 oder das erste räumliche Filter **65a** der Ausführungsformen 11 und 12 bildet, wobei eine sekundäre Lichtquellenoberfläche gemäß einem Halbton-Beleuchtungsverfahren mit ringförmigem Band gebildet wird. In ähnlicher Weise kann ein Aperturfilter mit ringförmigem Band mit einem Halbton-Bereich als das erste räumliche Filter **25a** der Ausführungsform 3 oder das erste räumliche Filter **55a** der Ausführungsform 9 verwendet werden, wobei eine sekundäre Lichtquellenoberfläche gemäß einem Halbton-Beleuchtungsverfahren mit ringförmigem Band gebildet wird.

(Ausführungsform 18)

[0081] Eine reflektierende Platte mit ringförmigem Band mit einem aus einem Netzwerk **72** gebildeten Halbton-Bereich, wie in **Fig.** 20b gezeigt, kann auch als der Spiegel **14** verwendet werden, der das erste räumliche Filter der Ausführungsformen 1 und 2, das erste räumliche Filter **35a** oder **45a** der Ausführungsformen 5 bis 8 oder das erste räumliche Filter **65a** der Ausführungsformen 11 und 12 bildet, wobei eine sekundäre Lichtquellenoberfläche gemäß einem Halbton-Beleuchtungsverfahren mit ringförmigem Band gebildet wird, wie in dem Fall von Ausführungsform 17. In ähnlicher Weise kann ein Aperturfilter mit ringförmigem Band mit einem aus einem Netzwerk gebildeten Halbton-Bereich als das erste räumliche Filter **25a** der Ausführungsform 3 oder das erste räumliche Filter **55a** der Ausführungsform 9 verwendet werden, wobei eine sekundäre Lichtquellenoberfläche gemäß einem Halbton-Beleuchtungsverfahren mit ringförmigem Band gebildet wird.

(Ausführungsform 19)

[0082] Eine unterteilte reflektierende Platte mit aus einem Halbton-Film **73** gebildeten Halbton-Bereichen, wie in **Fig.** 20c gezeigt, kann als der Spiegel **14** verwendet werden, der das erste räumliche Filter der Ausführungsformen 1 und 2, das erste räumliche Filter **35a** oder **45a** der Ausführungsformen 5 bis 8 oder das erste räumliche Filter **65a** der Ausführungsformen 11 und 12 bildet, wobei eine sekundäre Lichtquellenoberfläche gemäß einem unterteilten Halbton-Beleuchtungsverfahren gebildet wird. In ähnlicher Weise kann ein unterteiltes Aperturfilter mit einem Halbtonbereich als das erste räumliche Filter **25a** der Ausführungsform 3 oder das erste räumliche Filter **55a** der Ausführungsform 9 verwendet werden, wobei eine sekundäre Lichtquellenoberfläche gemäß einem unterteilten Halbton-Beleuchtungsverfahren gebildet wird.

(Ausführungsform 20)

[0083] Eine unterteilte reflektierende Platte mit aus einem Halbton-Netzwerk **74** gebildeten Halbton-Bereichen, wie in **Fig.** 20d gezeigt, kann auch als der Spiegel **14** verwendet werden, der das erste räumliche Filter der Ausführungsformen 1 und 2, das erste räumliche Filter **35a** oder **45a** der Ausführungsformen 5 bis 8 oder das erste räumliche Filter **65a** der Ausführungsformen 11 und 12 bildet, wobei eine sekundäre Lichtquellenoberfläche gemäß einem unterteilten Halbton-Beleuchtungsverfahren gebildet wird, wie in dem Fall von Ausführungsform 19. In ähnlicher Weise kann ein unterteiltes Aperturfilter mit einem aus einem Netzwerk gebildeten Halbton-Bereich als das erste räumliche Filter **25a** der Ausführungsform 3 oder das erste räumliche Filter **55a** der Ausführungsform 9 verwendet werden, wobei eine sekundäre Lichtquellenoberfläche gemäß einem unterteilten Halbton-Beleuchtungsverfahren gebildet wird.

(Ausführungsform 21)

[0084] In den vorstehend beschriebenen Ausführungsformen 1 bis 3, 5 bis 9, 11 und 12 kann eine Phasenverschiebungs-Maske als Maske **15** vom Reflexionstyp verwendet werden, um die Muster-Abbildungseigenschaften zu verbessern. Entsprechende Phasen-Verschiebungsverfahren sind in JJAP, Bd. 31 (1992), Seite 4131 bis 4136 beschrieben.

[0085] Beispielsweise kann eine Phasenverschiebungs-Maske vom räumlichen Frequenz-Modulationstyp wie beispielsweise die in

[0086] **Fig.** 21a gezeigte verwendet werden, um die Auflösung zu verbessern. Diese Maske ist in solch einer Weise gebildet, daß sich wiederholende Muster aus einem ersten reflektierenden Film **82** auf einem transparenten Substrat **81** gebildet sind, und eine Schicht aus einem zweiten reflektierenden Film **83** auf jedem zweiten sich wiederholenden Muster gebildet ist. Zum Beispiel wird ein diamantähnlicher Kohlenstoffilm (DLC) als transparentes Substrat **81** verwendet, und Gold oder Wolfram wird als erster oder zweiter reflektierender Film **82** und **83** verwendet. Von dem ersten reflektierenden Film **82** reflektiertes Licht und von dem zweiten reflektierenden Film **83** reflektiertes Licht wirken, indem sie einander durch die Wirkung eines Phasenunterschieds zwischen ihnen auslöschen.

(Ausführungsform 22)

[0087] In den vorstehend beschriebenen Ausführungsformen 1 bis 3, 5 bis 9, 11 und 12 kann eine kantenverstärkende Phasenverschiebungs-Maske vom eingefaßten bzw. Rand-Typ wie die in **Fig.** 21b gezeigte als Maske **15** vom Reflexionstyp verwendet

werden, wobei man ein schärferes projiziertes Bild erhält. Diese Maske ist in solch einer Weise gebildet, die erste reflektierende Maske **82** auf dem transparenten Substrat **81** gebildet ist und ein isoliertes reflektierendes Muster aus dem zweiten reflektierenden Film **83** auf dem ersten reflektierenden Film **82** gebildet ist. Der erste reflektierende Film **82** hat einen freigelegten Bereich mit einer vorbestimmten Breite rund um das isolierte Muster, das aus dem zweiten reflektierenden Film **83** gebildet ist. Ein Randbereich eines optischen Bildes aus dem isolierten Muster wird durch das reflektierte Licht von dem freigelegten ersten reflektierenden Film **82** ausgelöscht, wodurch das optische Bild verbessert wird.

(Ausführungsform 23)

[0088] In den vorstehend beschriebenen Ausführungsformen 1 bis 3, 5 bis 9, 11 und 12 kann eine kantenverstärkende Phasenverschiebungs-Maske vom Auslegertyp wie beispielsweise die in **Fig.** 21c gezeigte als Maske **15** vom Reflexionstyp verwendet werden. Dadurch kann ein schärferes projiziertes Bild erhalten werden, wie in dem Fall der Ausführungsform 22. Diese Maske ist in solch einer Weise gebildet, daß ein isoliertes Muster aus einer Laminierung aus einem ersten reflektierenden Film **82** und einem zweiten reflektierenden Film **83** auf einem transparenten Substrat **81** gebildet ist, und ein zusätzliches Muster aus reflektierendem Film, das aus dem ersten reflektierenden Film **82** gebildet ist und eine Breite hat, die kleiner als eine Auflösungsbreite ist, an einem Abstand von einem Randende des isolierten Musters angeordnet ist. Ein optisches Bild von dem isolierten Muster kann durch von dem zusätzlichen reflektierenden Film gebeugtem Licht verbessert werden.

(Ausführungsform 24)

[0089] In den vorstehend beschriebenen Ausführungsformen 1 bis 3, 5 bis 9, 11 und 12 kann eine Phasenverschiebungs-Maske von Halbtontyp wie beispielsweise die in **Fig.** 21d gezeigte als eine Maske **15** vom Reflexionstyp verwendet werden. Dadurch kann auch ein schärferes projiziertes Bild erhalten werden. Diese Maske ist in solch einer Weise gebildet, daß ein Halbton-Film **84** aus beispielsweise Kupfer oder dergleichen, mit der Eigenschaft, daß er in einem Halbtonzustand in Bezug auf einen Röntgenstrahlenbereich gehalten wird, auf einer Oberfläche des transparenten Substrats **81** durch dessen gesamte Fläche gebildet ist, und ein isoliertes reflektierendes Muster aus einem zweiten reflektierenden Film **83** auf dem Halbton-Film **84** gebildet ist. Ein Randbereich eines optischen Bildes von dem isolierten Muster wird durch einen Phasenunterschied des reflektierten Lichts entsprechend dem Unterschied zwischen den Höhen der Oberflächen des Halbton-Films **84** und des zweiten reflektierenden Films **83** ausgelöscht, wodurch das optische Bild verbessert wird.

(Ausführungsform 25)

[0090] In den vorstehend beschriebenen Ausführungsformen 1 bis 3, 5 bis 9, 11 und 12 kann eine Phasenverschiebungs-Maske vom Randlinientyp wie die in **Fig.** 22a gezeigte als die Maske **15** vom Reflexionstyp verwendet werden, um die Auflösung zu verbessern. Diese Maske ist in solch einer Weise gebildet, ein erster reflektierender Film **82** auf einer Oberfläche des transparenten Substrats **81** durch dessen gesamte Fläche gebildet ist, und ein großes Muster aus einem zweiten reflektierenden Film **83** auf dem ersten reflektierenden Film **82** gebildet ist. Ein abschattender Bereich S ist an dem Rand des zweiten reflektierenden Films **83** durch die Wirkung der Interferenz zwischen dem von dem ersten reflektierenden Film **82** reflektierten Licht und dem von dem zweiten reflektierenden Film **83** reflektierten Licht gebildet.

(Ausführungsform 26)

[0091] In den vorstehend beschriebenen Ausführungsformen 1 bis 3, 5 bis 9, 11 und 12 kann eine Phasenverschiebungs-Maske vom Abschattungs-Verschiebungstyp wie beispielsweise die in **Fig.** 22b gezeigte als Maske **15** vom Reflexionstyp verwendet werden, um den Kontrast eines projizierten Bildes zu verbessern. Diese Maske ist in solch einer Weise gebildet, daß ein erster reflektierender Film **82** auf einer Oberfläche des transparenten Substrats **81** durch die gesamte Fläche des Substrats gebildet ist und vorbestimmte Muster aus dem zweiten reflektierenden Film **83** auf dem ersten reflektierenden Film **82** angeordnet sind. Ein abschattender Bereich S ist auf Randbereichen der Muster des zweiten reflektierenden Films **83** durch die Wirkung der Interferenz zwischen von dem ersten reflektierenden Film **82** reflektierten Licht und von dem zweiten reflektierenden Film **83** reflektiertem Licht gebildet.

(Ausführungsform 27)

[0092] In den vorstehend beschriebenen Ausführungsformen 1 bis 3, 5 bis 9, 11 und 12 kann eine Phasenverschiebungs-Maske vom Abschattungs-Verschiebungstyp mit einem abschattenden Bereich wie beispielsweise die in **Fig.** 22c gezeigte als Maske **15** vom Reflexionstyp verwendet werden, um den Kontrast eines projizierten Bildes zu verbessern. Diese Maske ist in solch einer Weise gebildet, daß eine öffnung **82a** in dem ersten reflektierenden Film **82** der Maske aus Ausführungsform 26 gebildet ist, wodurch ein größerer abschattender Bereich S gebildet wird.

(Ausführungsform 28)

[0093] In den vorstehend beschriebenen Ausführungsformen 1 bis 3, 5 bis 9, 11 und 12 kann eine Phasenverschiebungs-Maske vom mehrstufigen Typ wie beispielsweise die in **Fig.** 22d gezeigte als Maske **15** vom Reflexionstyp verwendet werden, wobei die Freiheit der Mustergestaltung erhöht ist. Diese Maske ist in solch einer Weise gebildet, ein erster reflektierender Film **82** auf einer Oberfläche des transparenten Substrats durch die gesamte Fläche des Substrats gebildet ist und ein dritter reflektierender Film **83** und ein vierter reflektierender Film **86** auf dem ersten reflektierenden Film **82** in einer Vielstufenstruktur gebildet sind. Von dem dritten reflektierenden Film **85** reflektiertes Licht hat eine Phase, die zwischen der Phase des von dem ersten reflektierenden Film **82** reflektierten Lichts und der des von dem vierten reflektierenden Film **86** reflektierten Lichts dazwischenliegt, wodurch das Auftreten eines dunklen Musters an dem Ende des vierten reflektierenden Films **86** verhindert wird. Es ist daher möglich, frei das Muster des vierten reflektierenden Films **86** zu schneiden.

(Ausführungsform 29)

[0094] Die Pupillenoberfläche des optischen Projektionssystems ist an einer Einfalls-Pupillenposition, wie von dem Wafer **17** aus gesehen. Demgemäß wirkt das zweite räumliche Filter, das auf der Pupillenoberfläche angeordnet ist, als ein Pupillenfilter. Pupillenfilter sind in "Kohgaku (Optik) II", erste Auflage, veröffentlicht von Misuzu Shobo, S. 185 bis 196 beschrieben.

[0095] Eine runde bzw. zirkuläre reflektierende Platte wie beispielsweise die in **Fig.** 23a gezeigte kann als Spiegel **16** verwendet werden, der das zweite räumliche Filter der Ausführungsformen 1 und 2, das zweite räumliche Filter **35b** oder **45b** der Ausführungsformen 5 bis 8 oder das zweite räumliche Filter **65b** der Ausführungsformen 11 und 12 bildet, wobei eine Pupillenoberfläche mit einer gewöhnlichen runden Form gebildet wird. In ähnlicher Weise kann ein rundes Aperturfilter als das zweite räumliche Filter **25b** der Ausführungsform 3 oder das zweite räumliche Filter **55b** der Ausführungsform 9 verwendet werden, wobei eine Pupillenoberfläche mit einer gewöhnlichen runden Form gebildet wird.

(Ausführungsform 30)

[0096] Eine phasenreflektierende Platte mit ringförmigem Band mit einem Halbton-Bereich **91**, wie in **Fig.** 23b gezeigt, kann als Spiegel **16** verwendet werden, der das zweite räumliche Filter der Ausführungsformen 1 und 2, das zweite räumliche Filter **35b** oder **45b** der Ausführungsformen 5 bis 8 oder das zweite räumliche Filter **65b** der Ausführungsformen 11 und 12 bildet, wobei ein Phasenfilter mit ringförmigem Band auf der Pupillenoberfläche gebildet wird, wodurch die Schärfentiefe erhöht wird. In ähnlicher Weise kann ein Phasenfilter mit ringförmigem Band als das zweite räumliche Filter **25b** der Ausführungsform 3 oder das zweite räumliche Filter **55b** der Ausführungsform 9 verwendet werden, um die Schärfentiefe zu erhöhen.

(Ausführungsform 31)

[0097] Eine phasenreflektierende Platte vom konjugierten Typ mit einem Halbton-Bereich **92**, wie in **Fig.** 24a gezeigt, kann als Spiegel **16** verwendet werden, der das zweite räumliche Filter der Ausführungsformen 1 und 2, das zweite räumliche Filter **35b** oder **45b** der Ausführungsformen 5 bis 8 oder das zweite räumliche Filter **65b** der Ausführungsformen 11 und 12 bildet, wobei ein Phasenfilter vom konjugierten Typ auf der Pupillenoberfläche gebildet wird, wodurch die Schärfentiefe erhöht wird. In ähnlicher Weise kann ein Phasenfilter vom konjugierten Typ als das zweite räumliche Filter **25b** der Ausführungsform 3 oder das zweite räumliche Filter **55b** der Ausführungsform 9 verwendet werden, um die Schärfentiefe zu erhöhen.

(Ausführungsform 32 )

[0098] Eine viergeteilte phasenreflektierende Platte mit einem Halbtonbereich **93**, wie in **Fig.** 24b gezeigt, kann als Spiegel **16** verwendet werden, der das zweite räumliche Filter der Ausführungsformen 1 und 2, das zweite räumliche Filter **35b** oder **45b** der Ausführungsformen 5 bis 8 oder das zweite räumliche Filter **65b** der Ausführungsformen 11 und 12 bildet, wobei ein viergeteiltes Phasenfilter auf der Pupillenoberfläche gebildet wird, wodurch die Schärfentiefe erhöht wird. In ähnlicher Weise kann ein viergeteiltes Phasenfilter als das zweite räumliche Filter **25b** der Ausführungsform 3 oder das zweite räumliche Filter **55b** der Ausführungsform 9 verwendet werden, um die Schärfentiefe zu erhöhen.

[0099] In einem optischen Projektionssystem wird von einer Strahlungsquelle emittierte Synchrotron-Strahlung von einem ersten Spiegel reflektiert und bewegt sich durch eine Blende unter Bildung einer sekundären Lichtquellenoberfläche an einer Stelle auf einem zweiten Spiegel. Der von dem zweiten Spiegel reflektierte Strahl fällt auf eine Maske vom Reflexionstyp ein, auf der zuvor ein Schaltkreismuster gebildet worden ist. Eine Pupillenoberfläche wird an einer Stelle auf einem dritten Spiegel durch den von der Maske reflektierten Strahl gebildet. Der von dem dritten Spiegel reflektierte Strahl erreicht einen Wafer. Das Schaltkreismuster auf der Maske wird dadurch auf den Wafer übertragen.

## Patentansprüche

1. Projektionsbelichtungsgerät mit
einer Strahlungsquelle (**11**) zum Aussenden eines

Strahls im Bereich zwischen Röntgenstrahlung und Strahlung im Vakuum-Ultraviolettbereich,
einer Maske (**15**) der reflektierenden Art, auf der ein Schaltkreismuster abgebildet ist,
einem Wafer (**17**), der mit dem Schaltkreismuster belichtet wird,
einem optischen Strahlungsquellensystem (**12**, **22**, **32**, **42**, **52**, **62**) für einen von der Strahlungsquelle (**11**) zu einer Blende (**13**, **23**, **33**, **43**, **53**, **63**) führenden Strahlengang,
einem optischen Beleuchtungssystem (**14**; **24**, **25a**, **26**; **34**, **35a**, **36**; **44**, **45a**, **46**; **54**, **55a**, **56**; **64**, **65a**, **66**) für einen von der Blende (**13**, **23**, **33**, **43**, **53**, **63**) zur Maske (**15**) führenden Strahlengang, das die Strahlungsquelle (**11**) innerhalb des optischen Beleuchtungssystems abbildet und das die Maske (**15**) mit dem Strahl von dem Bild der Strahlungsquelle als einer sekundären Lichtquellenfläche bestrahlt, und
einem optischen Projektionssystem (**16**; **25b**, **28**; **35b**, **37**, **38**; **45b**, **47**, **48**; **55b**, **57**, **58**; **65b**, **67**, **68**) für einen von der Maske (**15**) zum Wafer (**17**) führenden Strahlengang, das das Schaltkreismuster auf den Wafer (**17**) durch Konvergieren des von der Maske (**15**) reflektierten Strahls auf den Wafer (**17**) projiziert, wobei
das optische Beleuchtungssystem (**14**; **24**, **25a**, **26**; **34**, **35a**, **36**; **44**, **45a**, **46**; **54**, **55a**, **56**; **64**, **65a**, **66**) und das optische Projektionssystem (**16**; **25b**, **28**; **35b**, **37**, **38**; **45b**, **47**, **48**; **55b**, **57**, **58**; **65b**, **67**, **68**) sowie die Blende (**13**, **23**, **33**, **43**, **53**, **63**) und der Wafer (**17**) bezüglich der Maske (**15**) symmetrisch angeordnet sind.

2. Projektionsbelichtungsgerät nach Anspruch 1, mit einem ersten räumlichen Filter (**14**; **25a**; **35a**; **45a**, **55a**; **65a**), das auf der sekundären Lichtquellenfläche angeordnet ist.

3. Projektionsbelichtungsgerät nach Anspruch 2, wobei das erste räumliche Filter ein Filter (**14**; **35a**; **45a**, **65a**;) vom Reflektionstyp umfaßt.

4. Projektionsbelichtungsgerät nach Anspruch 3, wobei das erste räumliche Filter einen Spiegel (**45a**) umfaßt, der aus einem Einkristall gebildet ist, mit der Eigenschaft, asymmetrisches gebeugtes Licht zu erzeugen.

5. Projektionsbelichtungsgerät nach Anspruch 2, wobei das erste räumliche Filter ein Filter (**25a**; **55a**) vom Absorptionstyp umfaßt.

6. Projektionsbelichtungsgerät mit
einer Strahlungsquelle (**11**) zum Aussenden eines Strahls im Bereich zwischen Röntgenstrahlen und Strahlung im Vakuum-Ultraviolettbereich,
einer Maske (**15**) der reflektierenden Art, auf der ein Schaltkreismuster abgebildet ist,
einem Wafer (**17**), der mit dem Schaltkreismuster belichtet wird,
einem optischen Strahlungsquellensystem (**12**, **22**, **32**, **42**, **52**, **62**) für einen von der Strahlungsquelle (**11**) zu einer Blende (**13**, **23**, **33**, **43**, **53**, **63**) führenden Strahlengang,
einem optischen Beleuchtungssystem (**14**; **24**, **25a**, **26**; **34**, **35a**, **36**; **44**, **45a**, **46**; **54**, **55a**, **56**; **64**, **65a**, **66**) für einen von der Blende (**13**, **23**, **33**, **43**, **53**, **63**) zur Maske (**15**) führenden Strahlengang, das die Maske (**15**) mit dem von der Strahlungsquelle (**11**) ausgesendeten Strahl bestrahlt, und
einem optischen Projektionssystem (**16**; **25b**, **28**; **35b**, **37**, **38**; **45b**, **47**, **48**; **55b**, **57**, **58**; **65b**, **67**, **68**) für einen von der Maske (**15**) zum Wafer (**17**) führenden Strahlengang, das eine Pupillenfläche durch den von der Maske reflektierten Strahl bildet und das Schaltkreismuster auf den Wafer (**17**) durch Konvergieren des von der Maske (**15**) reflektierten Strahls auf den Wafer (**17**) projiziert, wobei
das optische Beleuchtungssystem (**14**; **24**, **25a**, **26**; **34**, **35a**, **36**; **44**, **45a**, **46**; **54**, **55a**, **56**; **64**, **65a**, **66**) und das optische Projektionssystem (**16**; **25b**, **28**; **35b**, **37**, **38**; **45b**, **47**, **48**; **55b**, **57**, **58**; **65b**, **67**, **68**) sowie die Blende (**13**, **23**, **33**, **43**, **53**, **63**) und der Wafer (**17**) bezüglich der Maske (**15**) symmetrisch angeordnet sind.

7. Projektionsbelichtungsgerät nach Anspruch 6, ferner umfassend ein zweites räumliches Filter (**16**; **25b**; **35b**; **45b**; **55b**, **65b**), das auf der Pupillenoberfläche angeordnet ist.

8. Projektionsbelichtungsgerät nach Anspruch 7, wobei das zweite räumliche Filter ein Filter (**16**, **35b**; **45b**, **65b**) vom Reflektionstyp umfaßt.

9. Projektionsbelichtungsgerät nach Anspruch 8, wobei das zweite räumliche Filter einen aus einem Einkristall gebildeten Spiegel (**45b**) umfaßt, mit der Eigenschaft, asymmetrisches gebeugtes Licht zu erzeugen.

10. Projektionsbelichtungsgerät nach Anspruch 7, wobei das zweite räumliche Filter ein Filter (**25b**; **55b**) vom Absorptionstyp umfaßt.

11. Projektionsbelichtungsgerät nach Anspruch 1 oder 6, wobei die Maske (**15**) der reflektierenden Art eine Phasenverschiebungs-Maske umfaßt.

12. Projektionsbelichtungsgerät nach Anspruch 1 oder 6, wobei das optische Beleuchtungssystem einen Parabolspiegel (**12**; **22**; **32**; **42**; **52**; **62**) umfaßt.

13. Projektionsbelichtungsgerät nach Anspruch 1 oder 6, wobei das optische Projektionssystem einen Parabolspiegel (**16**; **27**, **28**; **37**, **38**; **47**, **48**; **57**, **58**; **67**, **68**) umfaßt.

14. Projektionsbelichtungsgerät nach Anspruch 1 oder 6, wobei das optische Beleuchtungssystem ei-

nen elliptischen Spiegel umfaßt.

15. Projektionsbelichtungsgerät nach Anspruch 1 oder 6, wobei das optische Projektionssystem einen elliptischen Spiegel umfaßt.

Es folgen 24 Blatt Zeichnungen

**Anhängende Zeichnungen**

FIG. 1

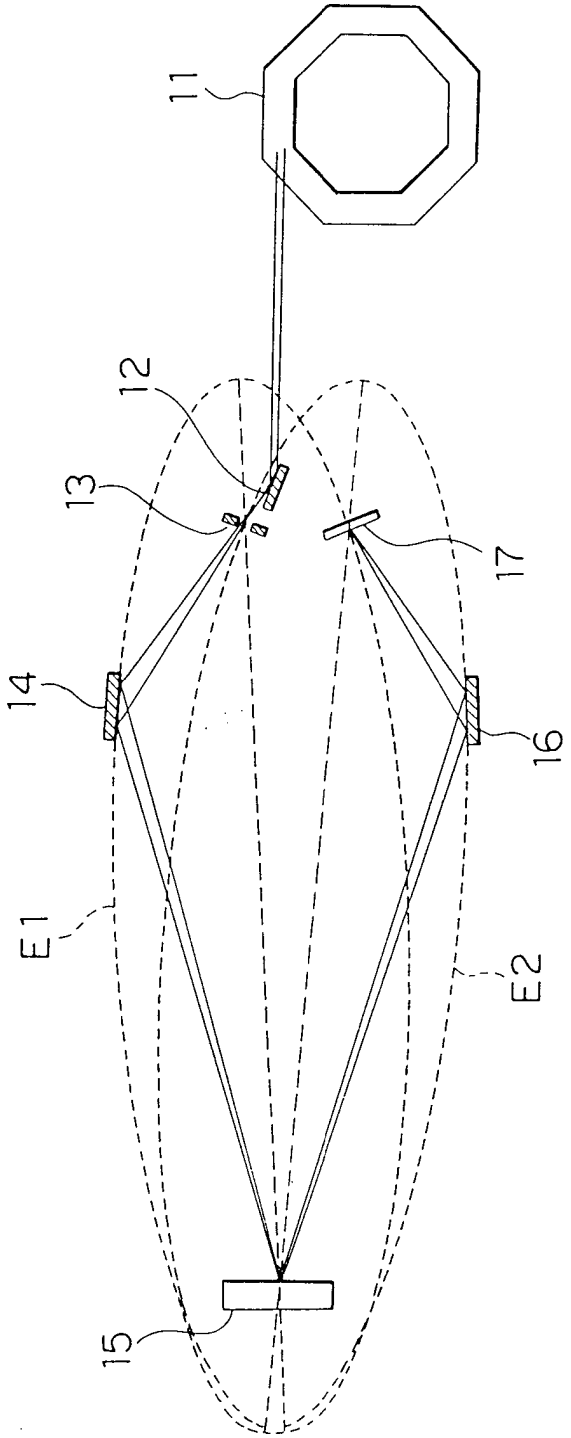


FIG. 2a

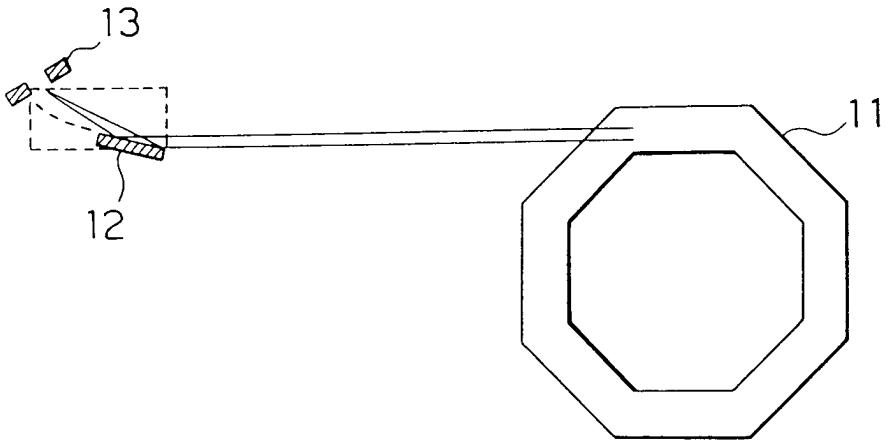



FIG. 2b

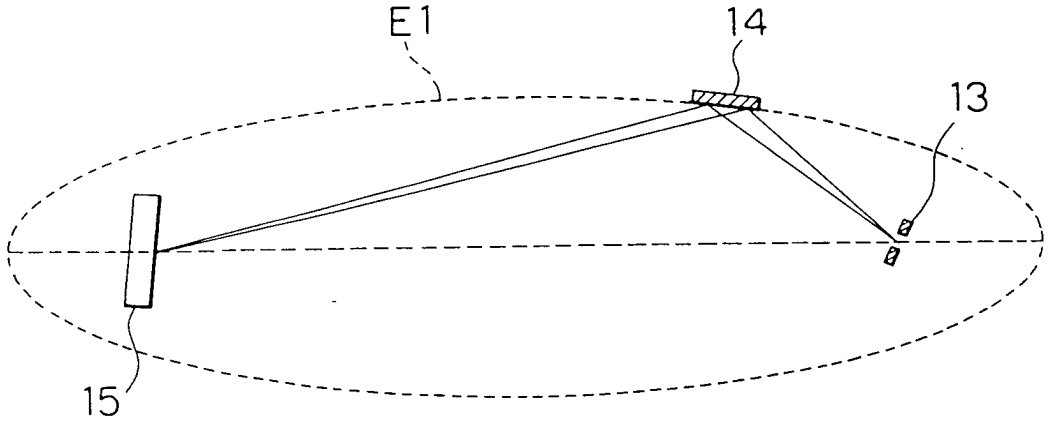



FIG. 2c

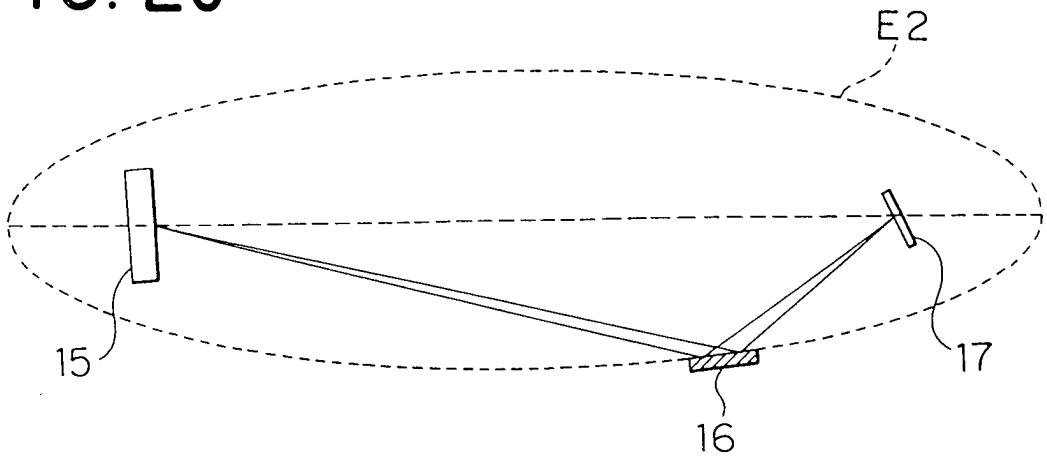


FIG. 3

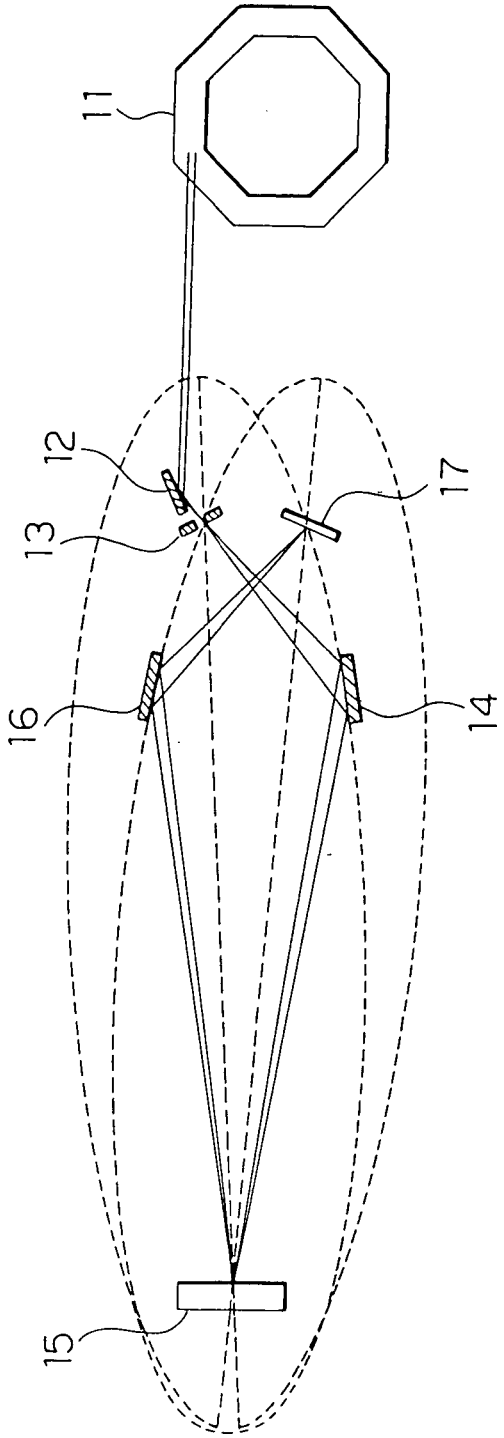


FIG. 4

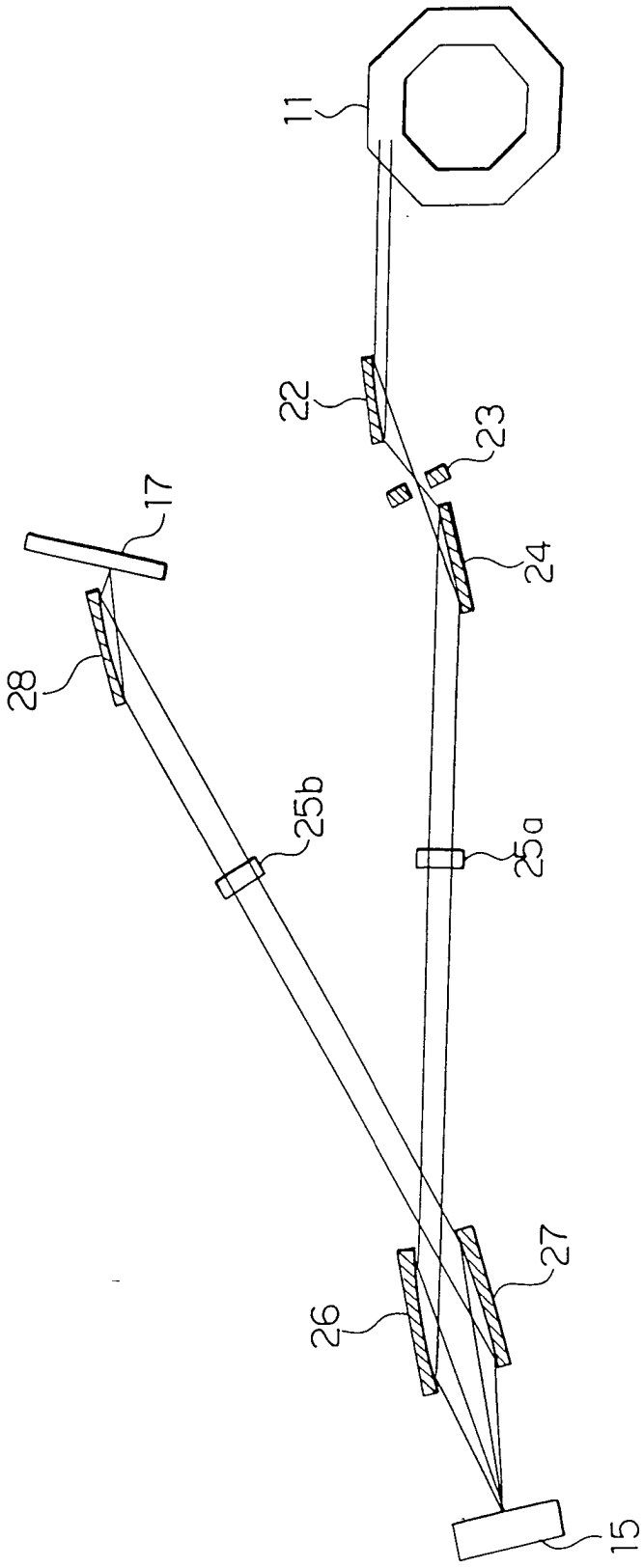


FIG. 5a

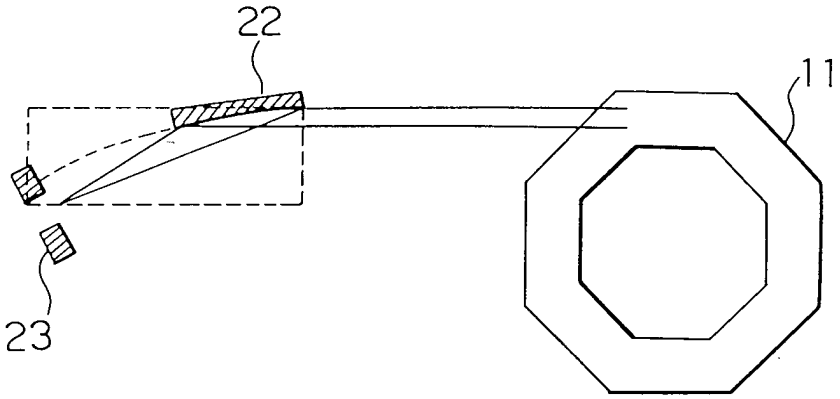



FIG. 5b

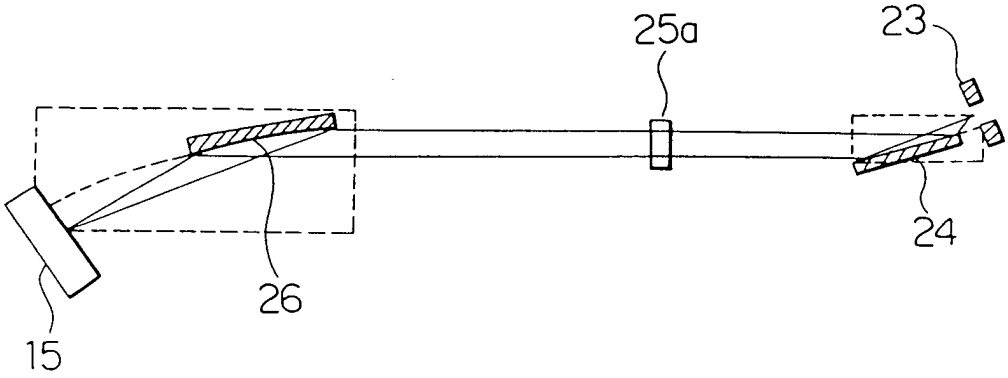



FIG. 5c

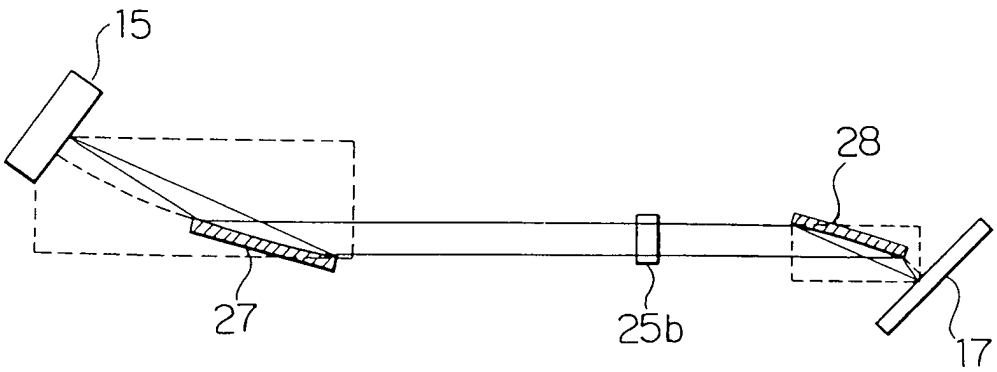


FIG. 6

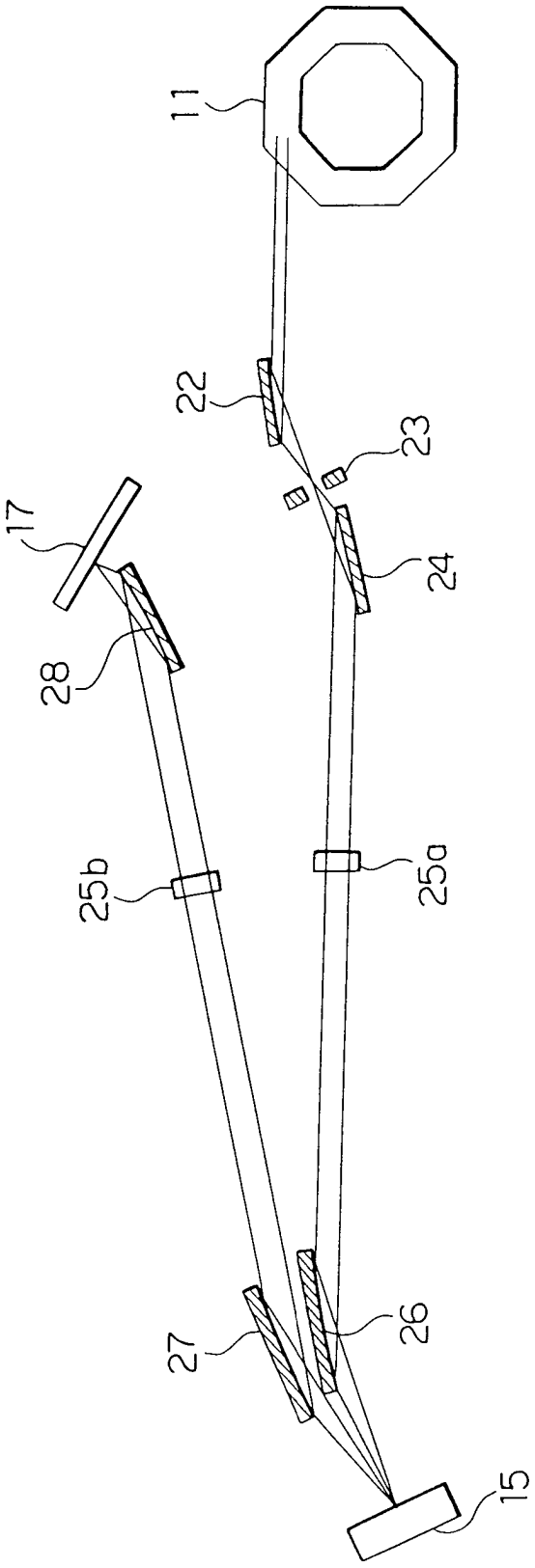


FIG. 7

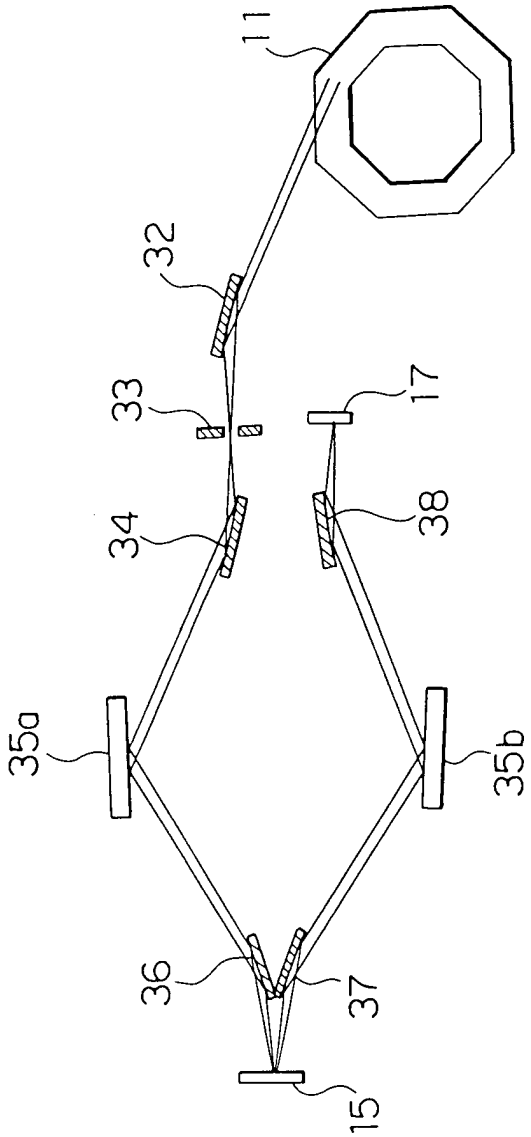


FIG. 8a

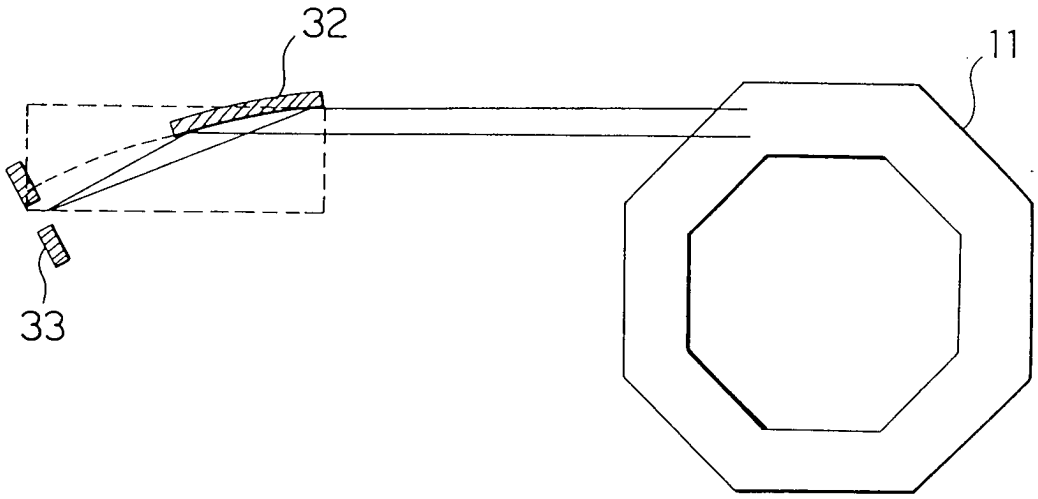



FIG. 8b

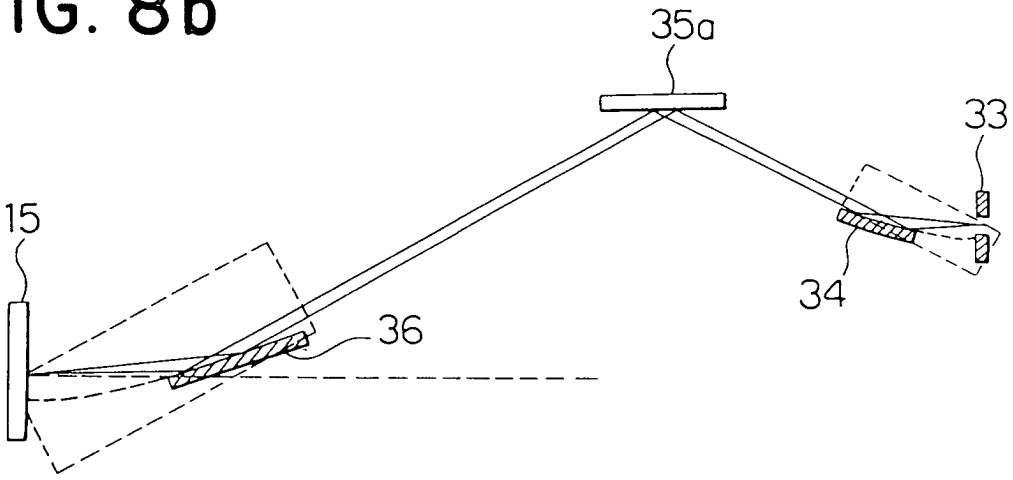



FIG. 8c

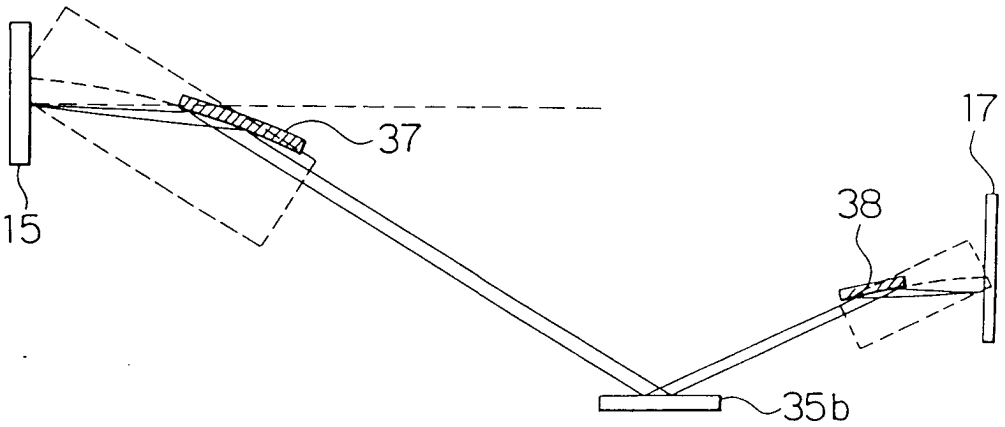


FIG. 9

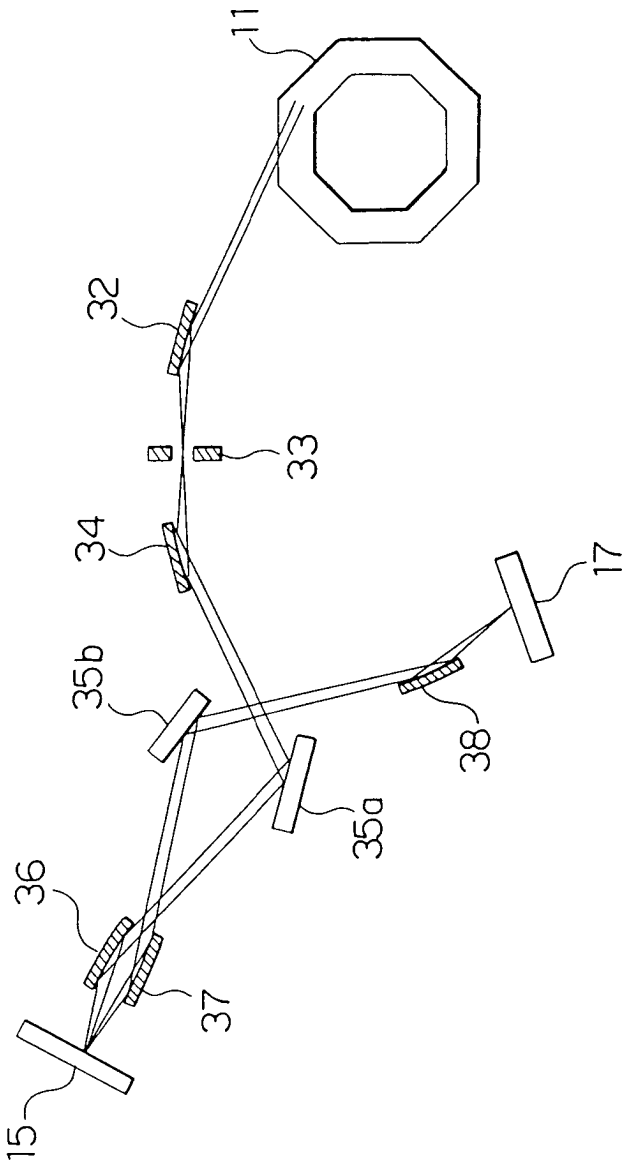


FIG. 10

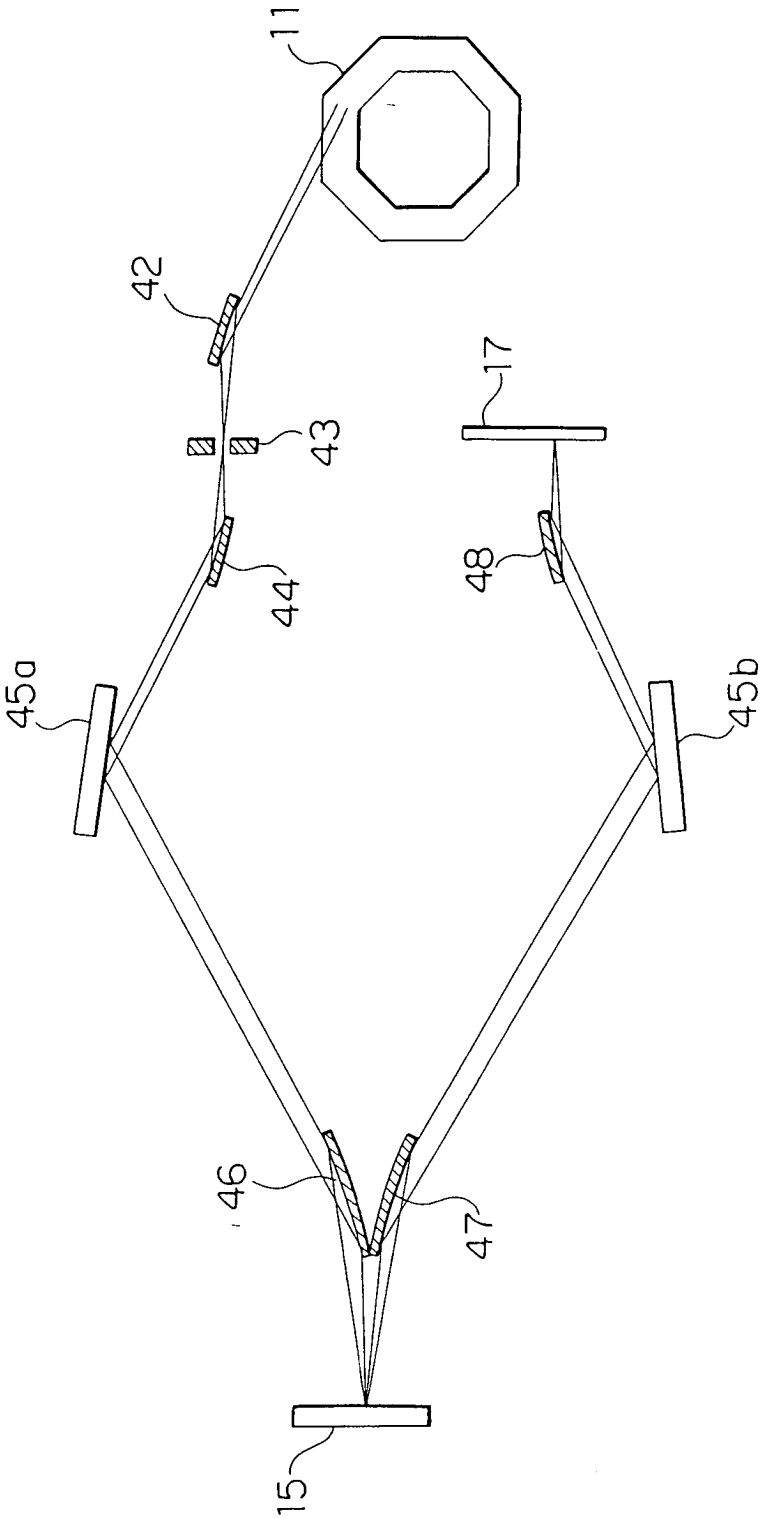


FIG. 11a

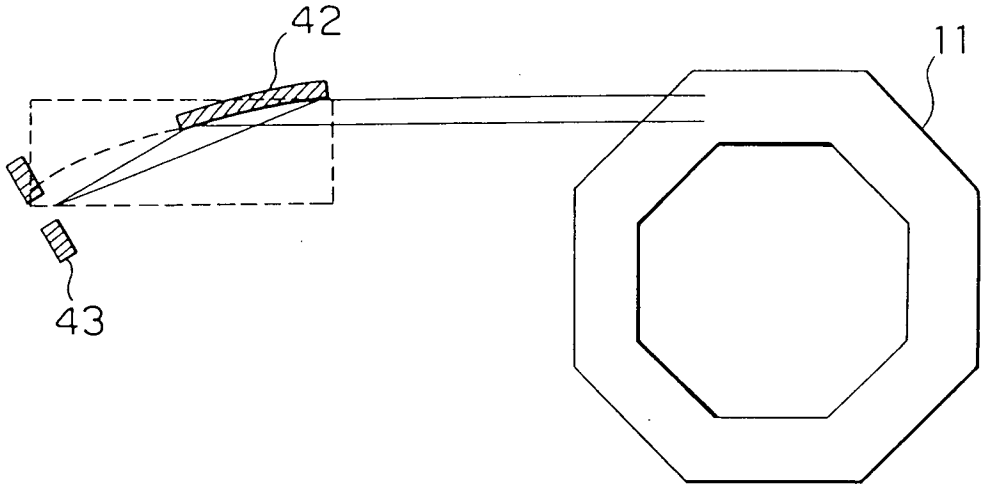



FIG. 11b

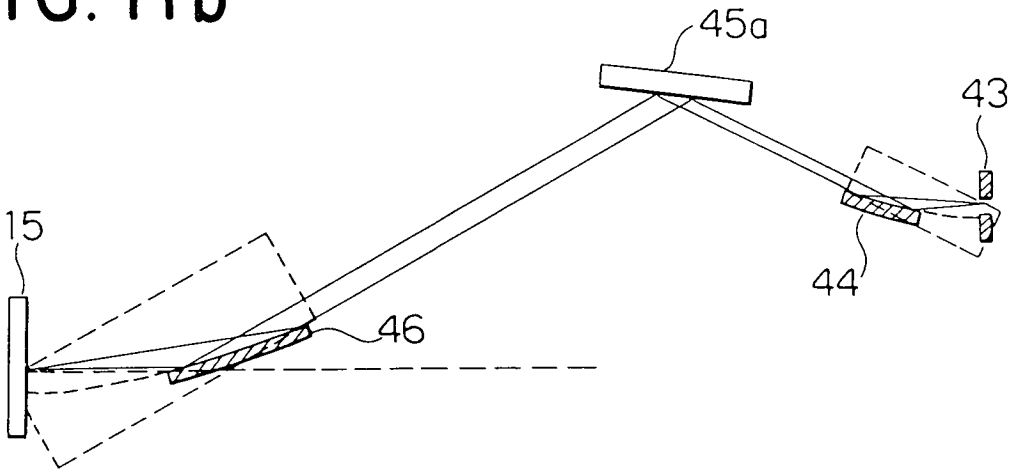



FIG. 11c

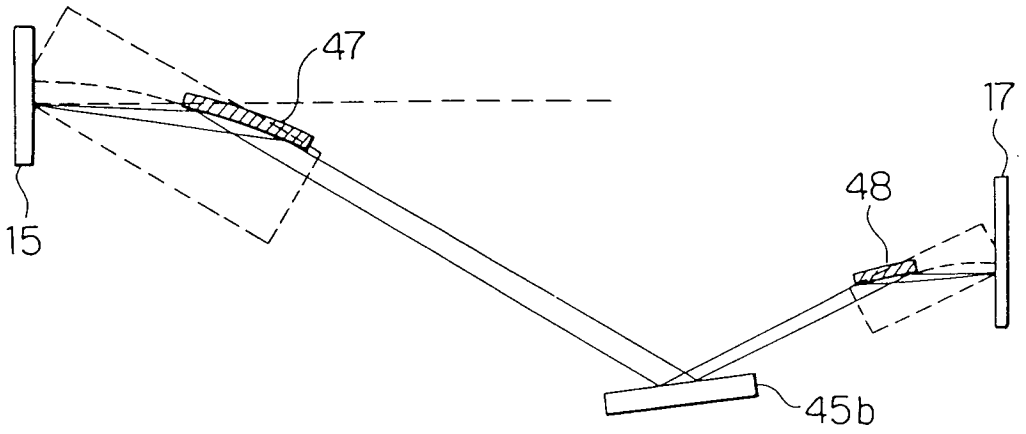


FIG. 12

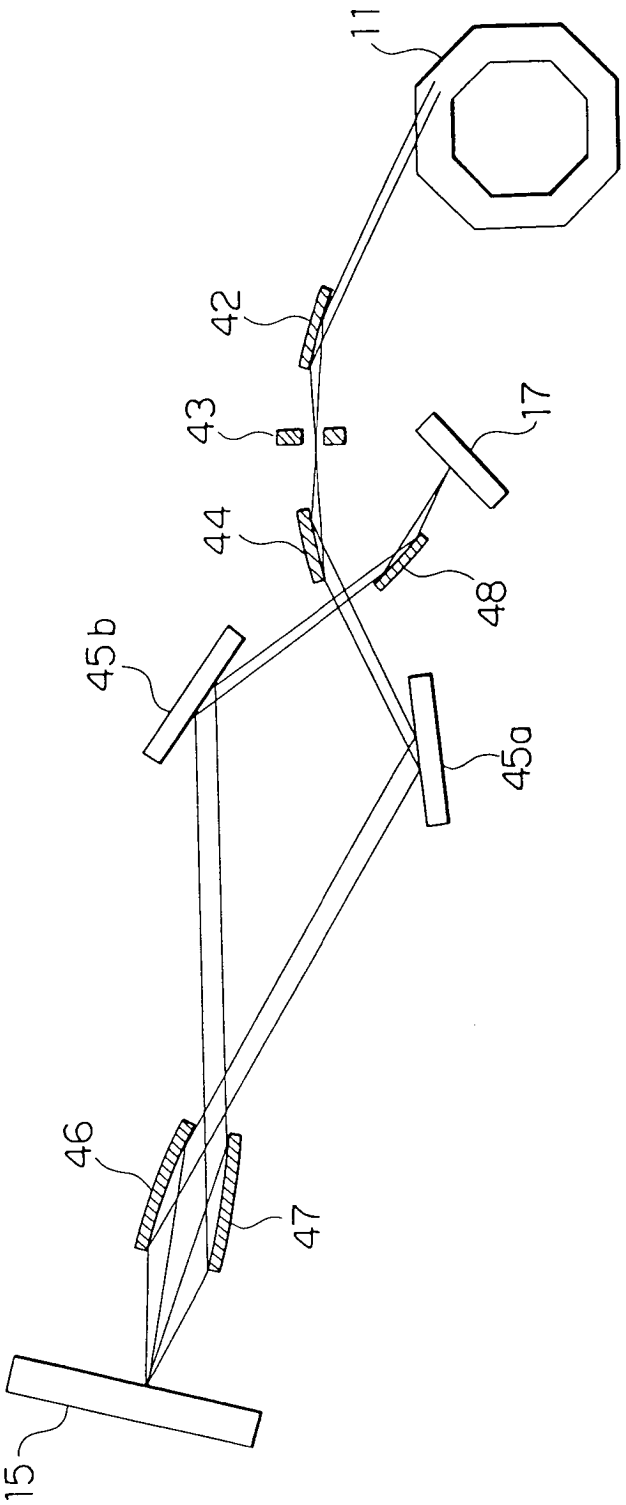


FIG. 13

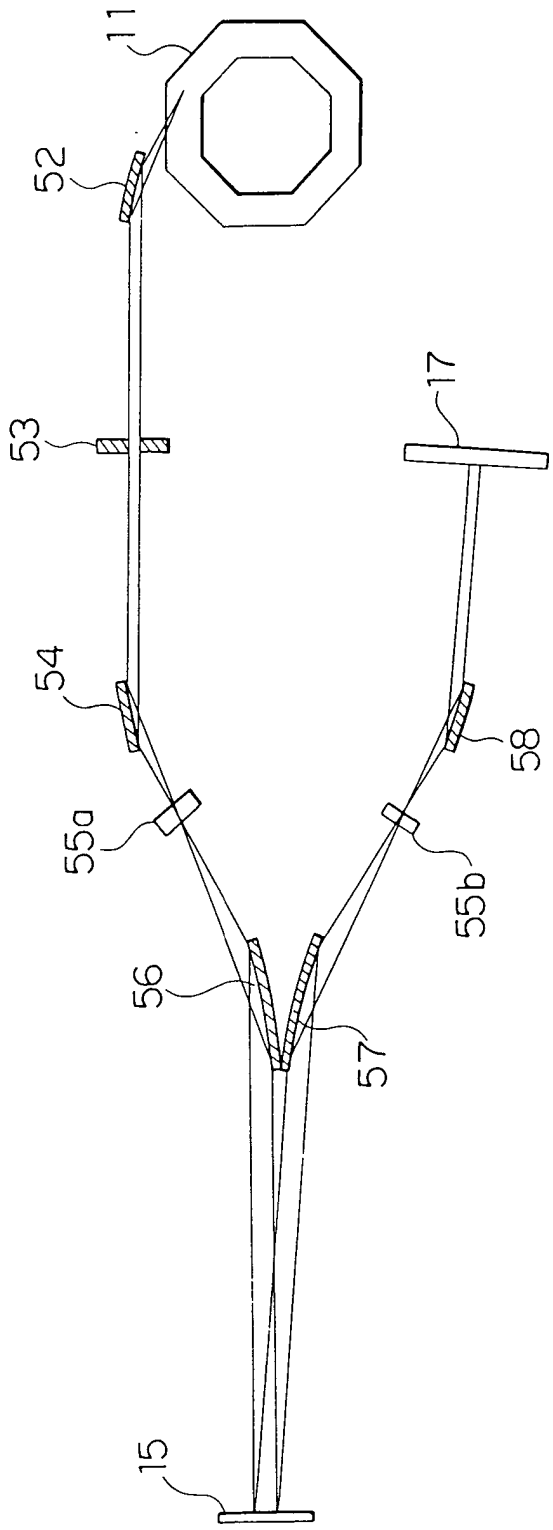


FIG. 14a

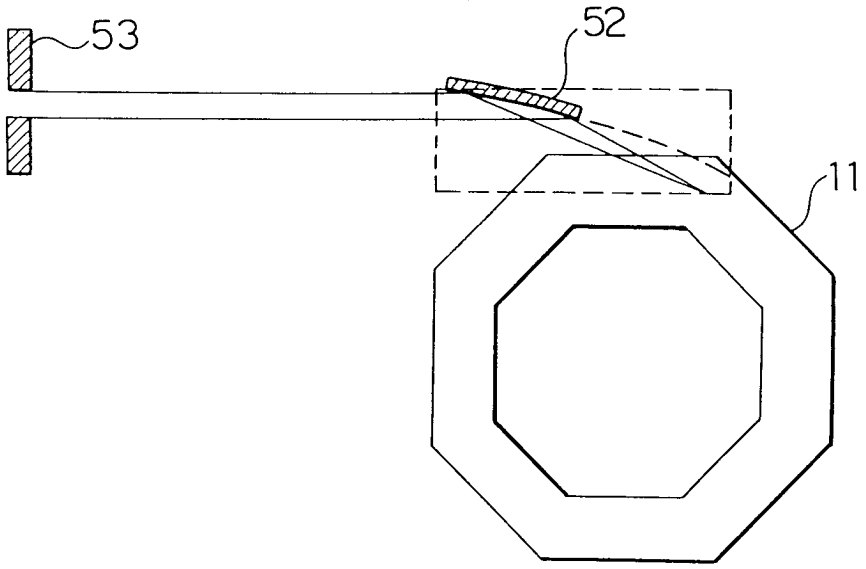



FIG. 14b

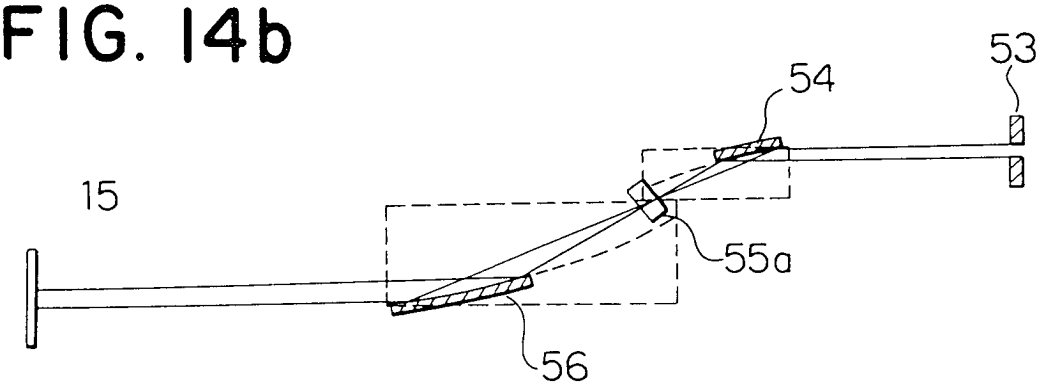



FIG. 14c

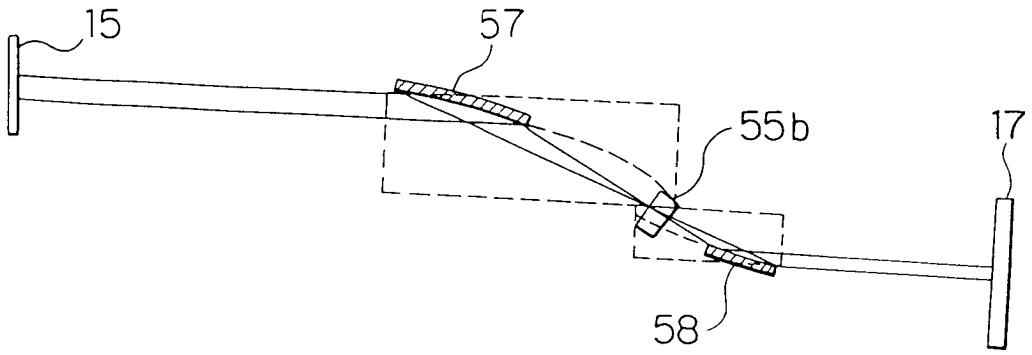


FIG. 15

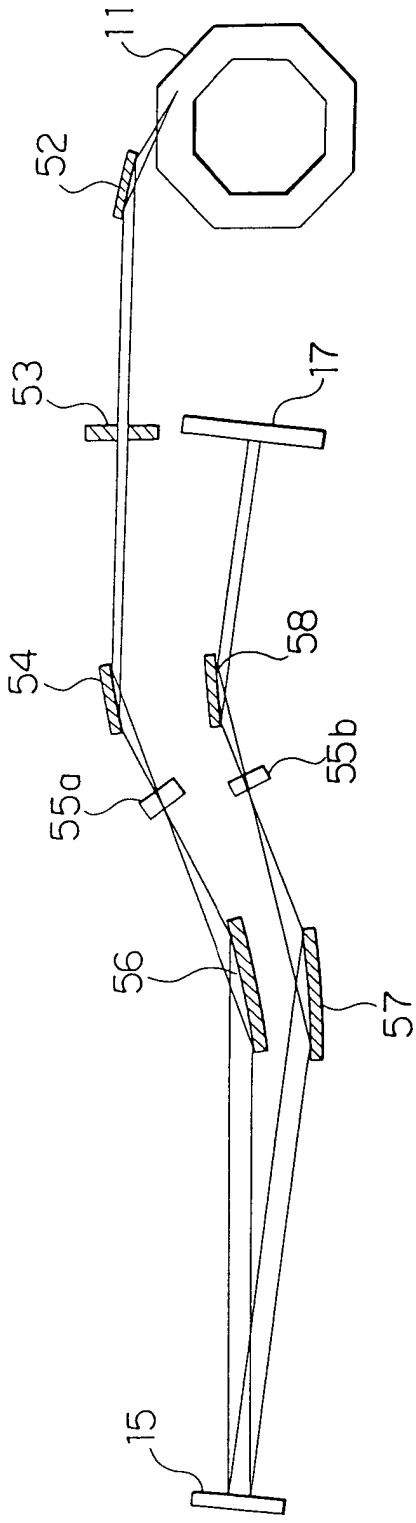


FIG. 16

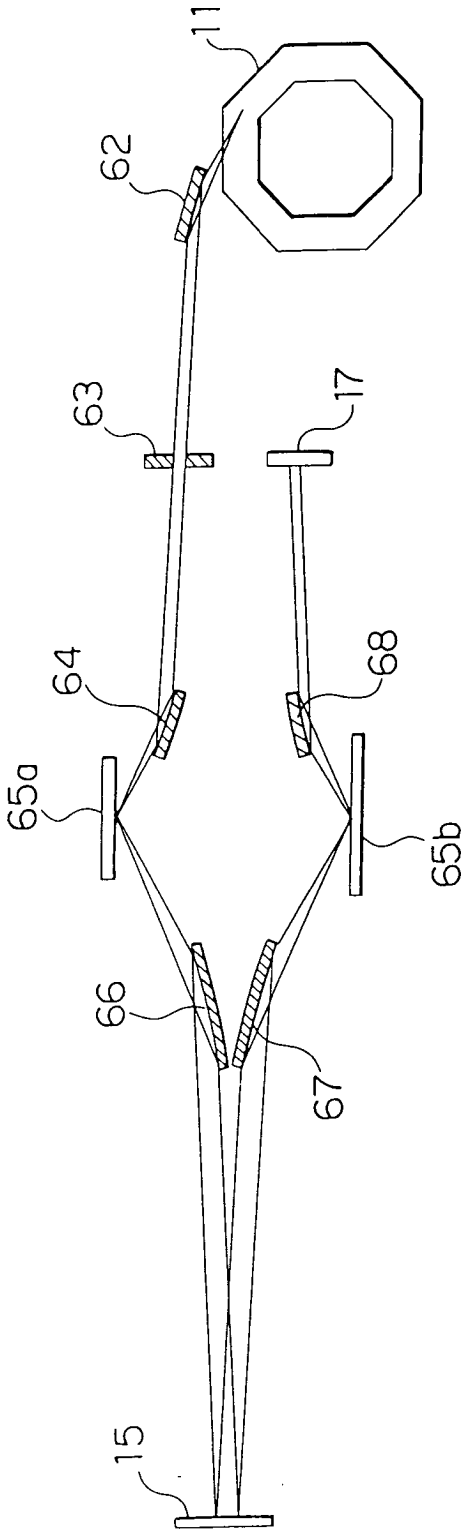


FIG. 17a

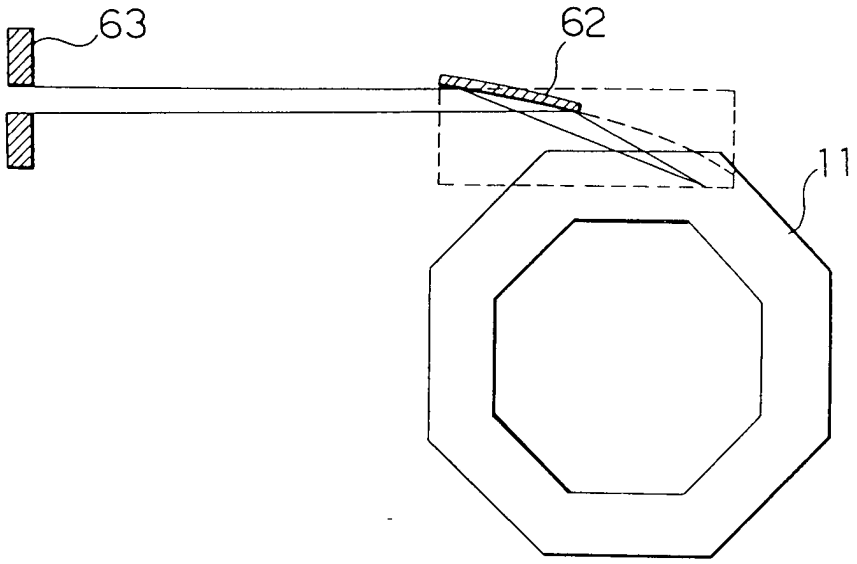



FIG. 17b

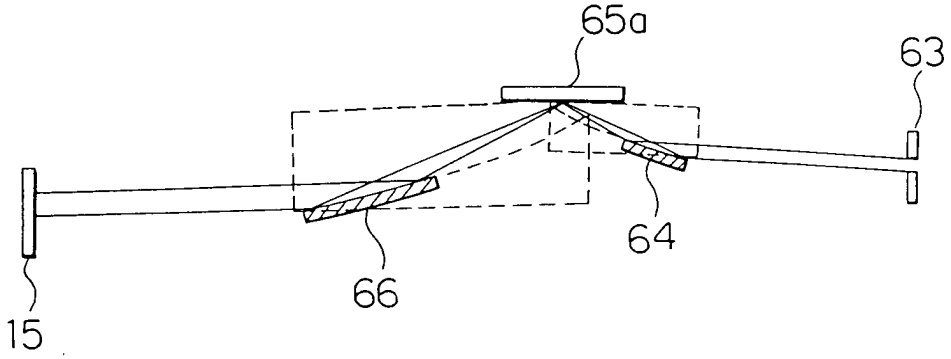



FIG. 17c

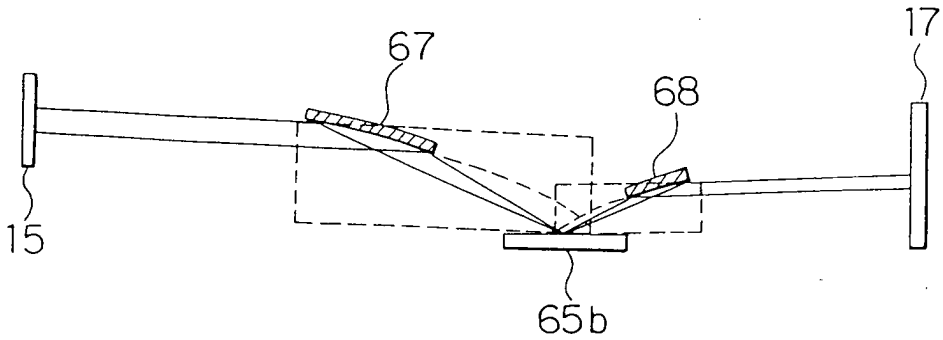


FIG. 18

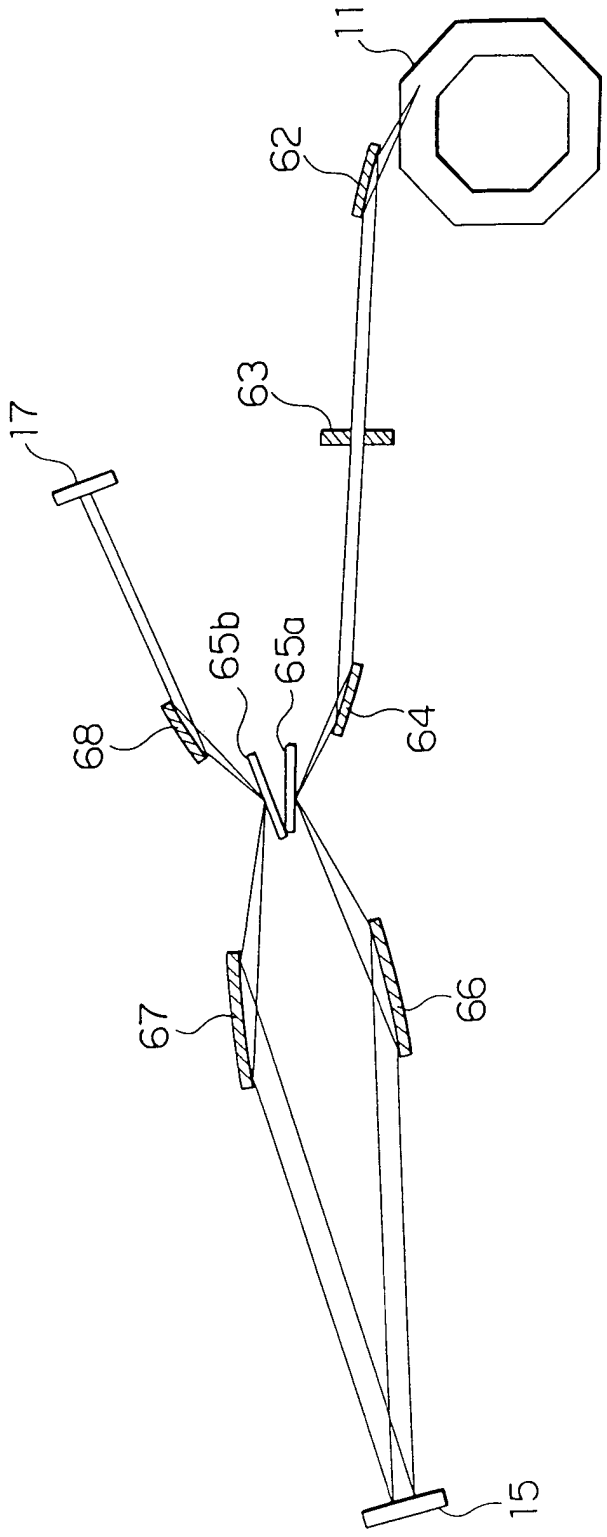


FIG. 19a

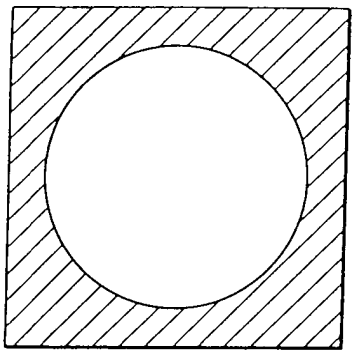


FIG. 19b

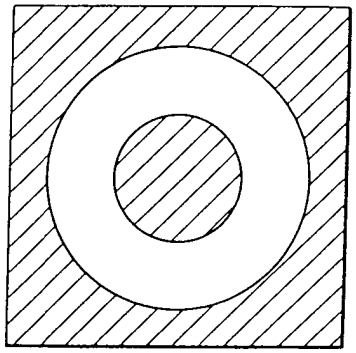


FIG. 19c

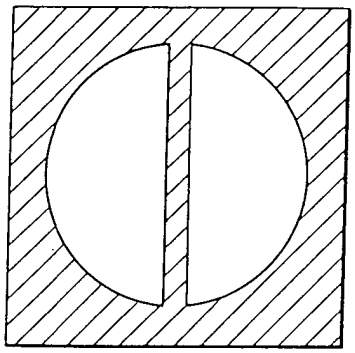


FIG. 19d

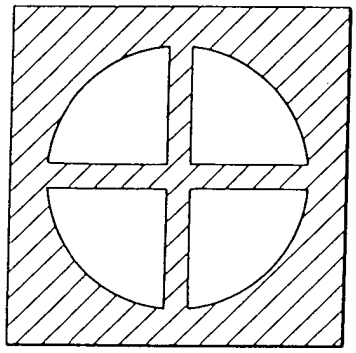


FIG. 20a

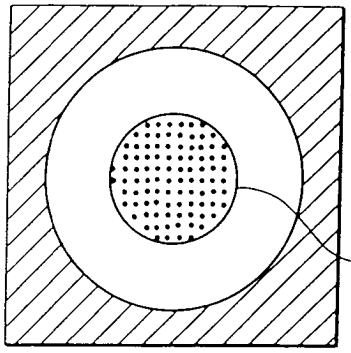



FIG. 20b

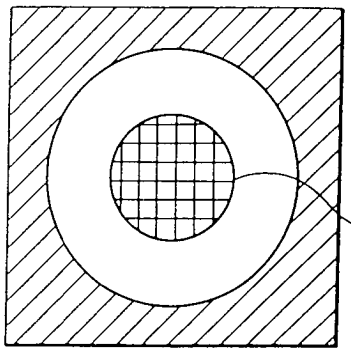



FIG. 20c

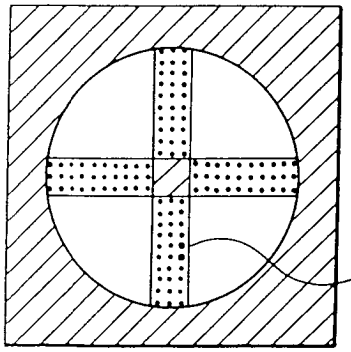



FIG. 20d

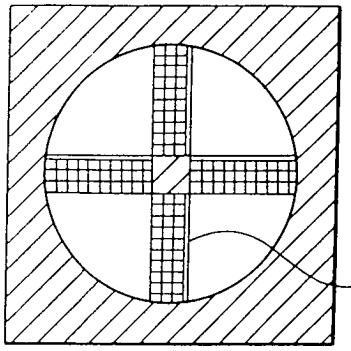


FIG. 21a

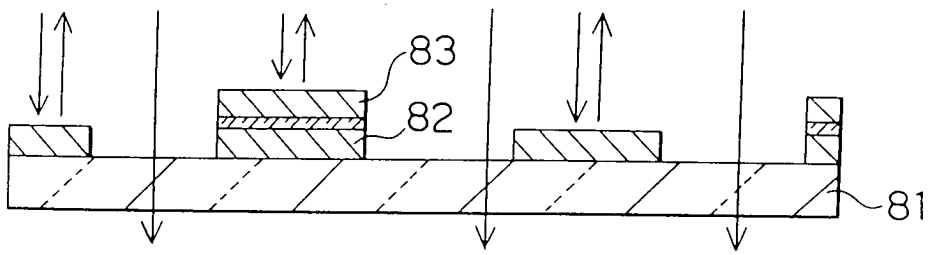



FIG. 21b

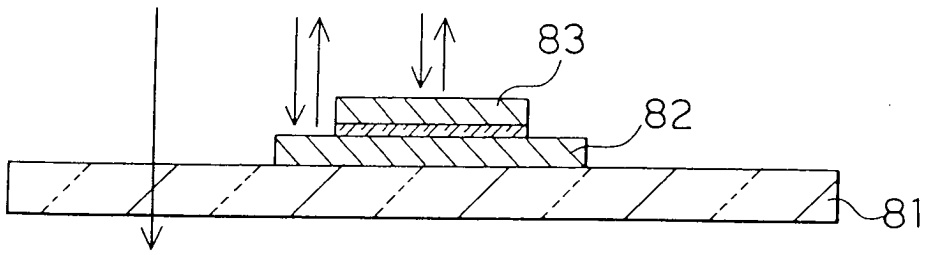



FIG. 21c

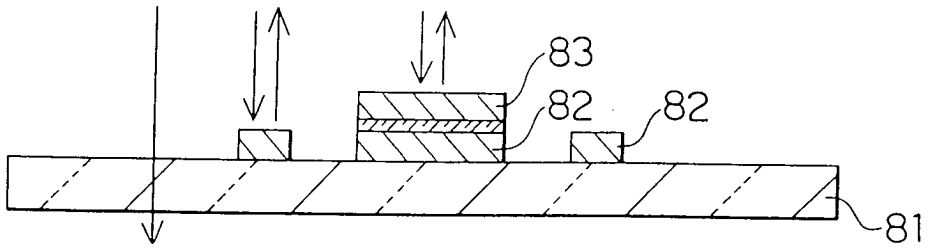



FIG. 21d

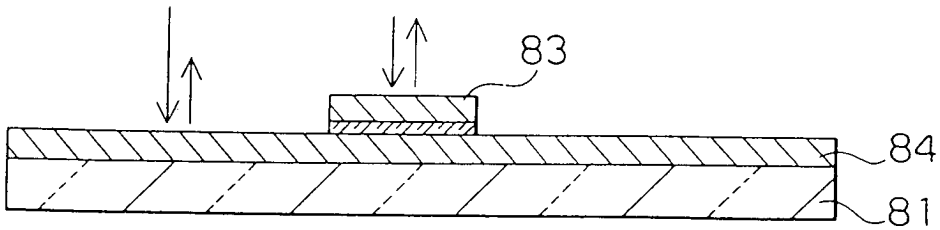


FIG. 22a

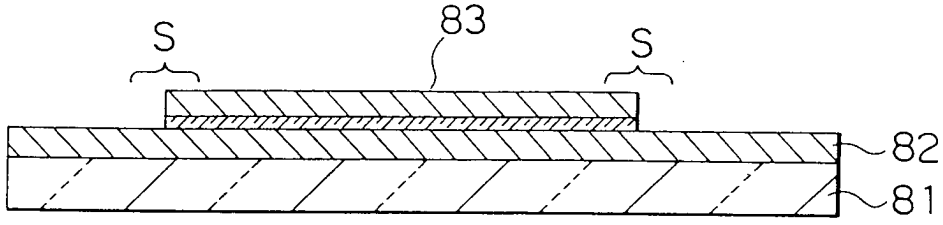



FIG. 22b

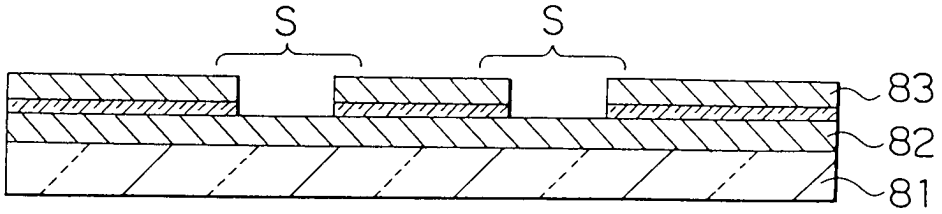



FIG. 22c

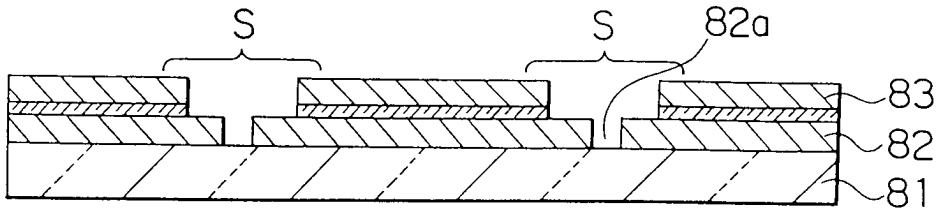



FIG. 22d

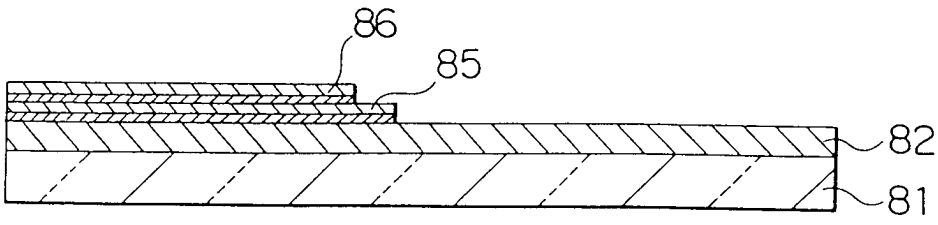


FIG. 23a

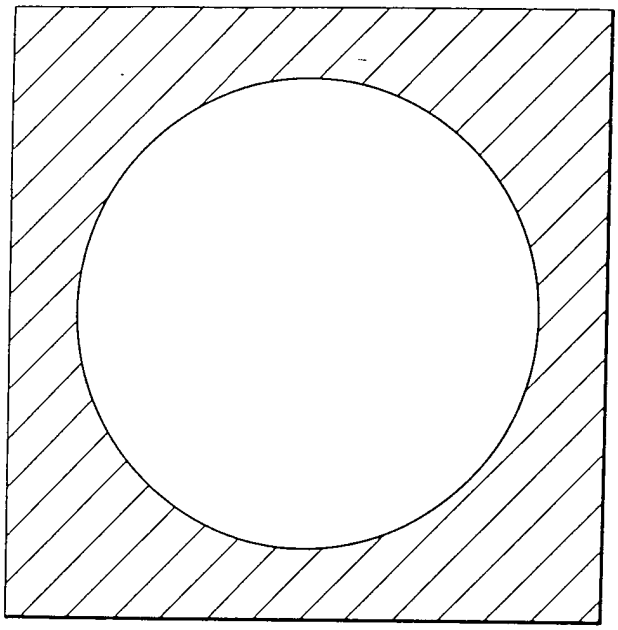


FIG. 23b

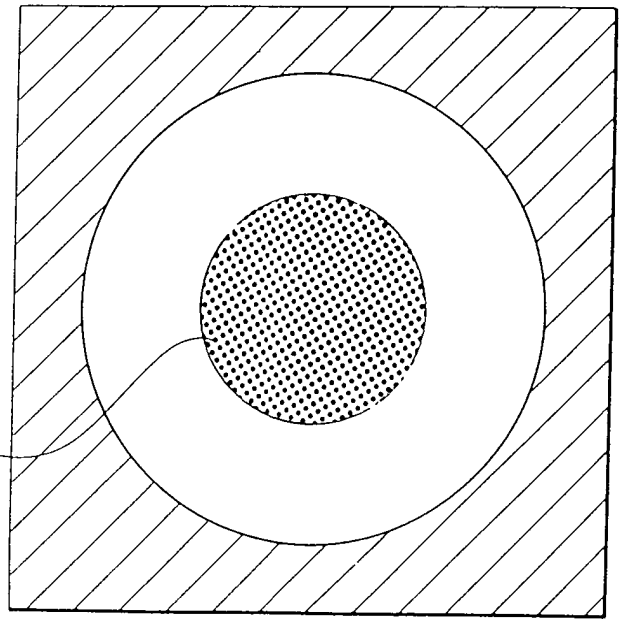


FIG. 24a

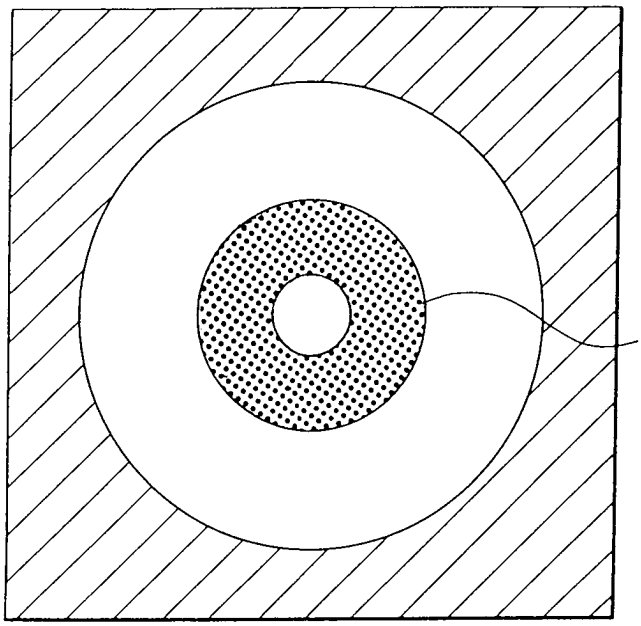



FIG. 24b

