

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3556472号
(P3556472)

(45) 発行日 平成16年8月18日(2004.8.18)

(24) 登録日 平成16年5月21日(2004.5.21)

(51) Int. Cl.⁷

F I

HO 1 L 21/027
GO 3 F 1/08
GO 3 F 7/20

HO 1 L 21/30 5 1 6 D
GO 3 F 1/08 A
GO 3 F 7/20 5 2 1
HO 1 L 21/30 5 0 2 P

請求項の数 8 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願平10-171345	(73) 特許権者	000003078
(22) 出願日	平成10年6月18日(1998.6.18)		株式会社東芝
(65) 公開番号	特開2000-12425(P2000-12425A)		東京都港区芝浦一丁目1番1号
(43) 公開日	平成12年1月14日(2000.1.14)	(74) 代理人	100058479
審査請求日	平成14年10月15日(2002.10.15)		弁理士 鈴江 武彦
		(74) 代理人	100084618
			弁理士 村松 貞男
		(74) 代理人	100068814
			弁理士 坪井 淳
		(74) 代理人	100092196
			弁理士 橋本 良郎
		(74) 代理人	100091351
			弁理士 河野 哲
		(74) 代理人	100088683
			弁理士 中村 誠

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 露光量測定方法及び露光量測定用マスク

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

マスクパターンが形成されたマスクを、露光波長 λ 、ウェハ側開口数 NA 、照明のコヒーレンスファクタ σ 、ウェハ上のパターンに対するマスクパターンの倍率 M なる露光装置にセットし、ウェハ上に塗布されたレジストにマスクパターンを露光し、該マスクパターンに対応するウェハ上のレジストの状態を観察することにより、ウェハ上の実効的な露光量を測定する露光量測定方法であって、

前記マスクパターンは周期 p にて透光部と遮光部が繰り返されたパターンであり、かつ透光部と遮光部の割合が異なる複数種類が同一マスクに形成され、前記周期 p が、

$$p / M \leq (1 + \sigma) NA$$

を満たすように設定されていることを特徴とする露光量測定方法。

【請求項2】

マスクパターンが形成されたマスクを、露光波長 λ_m 、ウェハ側開口数 NA 、照明のコヒーレンスファクタ σ_m 、ウェハ上のパターンに対するマスクパターンの倍率 M なる露光装置にセットし、ウェハ上に塗布されたレジストにマスクパターンを露光し、該マスクパターンに対応するウェハ上のパターンを、波長 λ_m 、ウェハ側開口数 NA_m 、照明のコヒーレンスファクタ σ_m なる光学顕微鏡で観察することにより、ウェハ上の実効的な露光量を測定する露光量測定方法であって、

前記マスクパターンは周期 p にて透光部と遮光部が繰り返されたパターンであり、かつ透光部と遮光部の割合が異なる複数種類が同一マスクに形成され、前記周期 p が、

10

20

$$p / M > \lambda / (1 + \lambda / \lambda_m) N A$$

$$p / M > \lambda_m / (1 + \lambda_m / \lambda) N A_m$$

を満たすように設定されていることを特徴とする露光量測定方法。

【請求項 3】

前記ウェハ上のレジストが抜けきった箇所、又はレジストが所定膜厚になった個所に対応するマスクパターンの透光部面積を測定し、該面積を露光量に置き換えることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の露光量測定方法。

【請求項 4】

前記光学顕微鏡の受光面での強度が所定値になった箇所に対応するマスクパターンの透光部面積を測定し、該面積を露光量に置き換えることを特徴とする請求項 2 記載の露光量測定方法。

10

【請求項 5】

前記マスクパターンは、ラインアンドスペースパターン、繰り返しのホールパターン、又は菱形の繰り返しパターンであることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の露光量測定方法。

【請求項 6】

前記複数種類のマスクパターンは、透光部面積の変化量又は変化率が一定となるように設定されていることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の露光量測定方法。

【請求項 7】

基板上にマスクパターンを有するマスクであって、ウェハ上に塗布されたレジストにマスクパターンを露光することにより、ウェハ上の実効的な露光量を測定する露光量測定に用いられる露光量測定用マスクにおいて、

20

前記マスクパターンは周期 p にて透光部と遮光部が繰り返されたパターンであり、かつ透光部と遮光部の割合が異なる複数種類が前記基板上に形成され、前記マスクパターンを露光する際の露光波長を λ 、ウェハ側開口数を $N A$ 、照明のコヒーレンスファクタを σ 、ウェハ上のパターンに対するマスクパターンの倍率を M とするとき、前記周期 p が、

$$p / M > \lambda / (1 + \lambda / \lambda_m) N A$$

を満たすように設定されていることを特徴とする露光量測定用マスク。

【請求項 8】

基板上にマスクパターンを有するマスクであって、ウェハ上に塗布されたレジストにマスクパターンを露光することにより、ウェハ上の実効的な露光量を測定する露光量測定に用いられる露光量測定用マスクにおいて、

30

前記マスクパターンは周期 p にて透光部と遮光部が繰り返されたパターンであり、かつ透光部と遮光部の割合が異なる複数種類が前記基板上に形成され、前記マスクパターンを露光する際の露光波長を λ 、ウェハ側開口数を $N A$ 、照明のコヒーレンスファクタを σ 、ウェハ上のパターンに対するマスクパターンの倍率を M とし、さらに前記マスクパターンに対応するウェハ上パターンを観測する光学顕微鏡の波長を λ_m 、ウェハ側開口数を $N A_m$ 、照明のコヒーレンスファクタを σ_m とするとき、前記周期 p が、

$$p / M > \lambda / (1 + \lambda / \lambda_m) N A$$

$$p / M > \lambda_m / (1 + \lambda_m / \lambda) N A_m$$

40

を満たすように設定されていることを特徴とする露光量測定用マスク。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、マスクを用いた露光における露光量測定技術に係わり、特に投影露光装置を用いた光リソグラフィにおける露光量を測定するための露光量測定方法とそれに用いる露光量測定用マスクに関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、LSIの最小寸法が光露光装置の限界解像力に近づき、光リソグラフィにおける

50

ロセスマージン（焦点深度，露光量余裕度）が十分に得られなくなっている。そこで、これらのプロセスマージンを引き上げるために、位相シフトマスク（PSM），変形照明などの様々な工夫がなされてきている。

【0003】

その一方で、少ないプロセスマージンで光リソグラフィを行うために、プロセスマージンを消費する誤差の精密な分析と誤差配分（エラーバジェット）が重要視されてきている。例えば、ウェハ上に多数のチップを同じ設定露光量で露光したつもりでも、PEB，現像のウェハ面内不均一性、レジストのウェハ面内膜厚変動などが原因となって、実効的な適正露光量がばらつく。

【0004】

従来、ウェハ面内の適正露光量変動を測定する場合には、露光装置におけるフォーカス，露光量の設定値を一定にしてウェハ面内にパターンを転写し、そのパターン寸法を測定し、パターン寸法から露光量に換算することによってウェハ面内露光量不均一性を求めていた。しかし、この方法では最終的に形成されたパターン寸法を測定することから、微妙なフォーカス変動の解像寸法への影響を除くことが不可能であった。また、寸法測定に膨大な時間を要していた。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

このように、従来のウェハ面内の露光量測定方法においては、パターン寸法を測定し、パターン寸法から露光量に換算するために、フォーカス変動の影響を避けることができず、露光量を正確に測定することは困難であった。また、測定に長時間を要するという問題があった。

【0006】

本発明は、上記事情を考慮して成されたもので、その目的とするところは、フォーカス変動の影響を受けることなく、露光量を短時間でかつ正確に測定することのできる露光量測定方法と、これに用いる露光量測定用マスクを提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】

（構成）

上記課題を解決するために本発明は、次のような構成を採用している。

即ち本発明は、マスクパターンが形成されたマスクを、露光波長 λ ，ウェハ側開口数 NA ，照明のコヒーレンスファクタ σ ，ウェハ上のパターンに対するマスクパターンの倍率 M なる露光装置にセットし、ウェハ上に塗布されたレジストにマスクパターンを露光し、該マスクパターンに対応するウェハ上のレジストの状態を観察することにより、ウェハ上の実効的な露光量を測定する露光量測定方法であって、前記マスクパターンは周期 p にて透光部と遮光部が繰り返されたパターンであり、かつ透光部と遮光部の割合が異なる複数種類が同一マスクに形成され、前記周期 p が、 $p/M < (1 + \sigma) NA$ を満たすように設定されていることを特徴とする。

【0008】

また本発明は、マスクパターンが形成されたマスクを、露光波長 λ ，ウェハ側開口数 NA ，照明のコヒーレンスファクタ σ ，ウェハ上のパターンに対するマスクパターンの倍率 M なる露光装置にセットし、ウェハ上に塗布されたレジストにマスクパターンを露光し、該マスクパターンに対応するウェハ上のパターンを、波長 λ_m ，ウェハ側開口数 NA_m ，照明のコヒーレンスファクタ σ_m なる光学顕微鏡で観察することにより、ウェハ上の実効的な露光量を測定する露光量測定方法であって、前記マスクパターンは周期 p にて透光部と遮光部が繰り返されたパターンであり、かつ透光部と遮光部の割合が異なる複数種類が同一マスクに形成され、前記周期 p が、 $p/M > (1 + \sigma_m) NA_m$ ， $p/M < (1 + \sigma_m) NA_m$ を満たすように設定されていることを特徴とする。

【0009】

また本発明は、基板上にマスクパターンを有するマスクであって、ウェハ上に塗布された

10

20

30

40

50

レジストにマスクパターンを露光することにより、ウェハ上の実効的な露光量を測定する露光量測定に用いられる露光量測定用マスクにおいて、前記マスクパターンは周期 p にて透光部と遮光部が繰り返されたパターンであり、かつ透光部と遮光部の割合が異なる複数種類が前記基板上に形成され、前記マスクパターンを露光する際の露光波長を λ 、ウェハ側開口数を NA 、照明のコヒーレンスファクタを σ 、ウェハ上のパターンに対するマスクパターンの倍率を M とするとき、前記周期 p が、 $p/M > \lambda / (1 + \sigma) NA$ を満たすように設定されていることを特徴とする。

【0010】

また本発明は、基板上にマスクパターンを有するマスクであって、ウェハ上に塗布されたレジストにマスクパターンを露光することにより、ウェハ上の実効的な露光量を測定する露光量測定に用いられる露光量測定用マスクにおいて、前記マスクパターンは周期 p にて透光部と遮光部が繰り返されたパターンであり、かつ透光部と遮光部の割合が異なる複数種類が前記基板上に形成され、前記マスクパターンを露光する際の露光波長を λ 、ウェハ側開口数を NA 、照明のコヒーレンスファクタを σ 、ウェハ上のパターンに対するマスクパターンの倍率を M とし、さらに前記マスクパターンに対応するウェハ上パターンを観測する光学顕微鏡の波長を λ_m 、ウェハ側開口数を NA_m 、照明のコヒーレンスファクタを σ_m とするとき、前記周期 p が、 $p/M > \lambda / (1 + \sigma) NA$ 、 $p/M > \lambda_m / (1 + \sigma_m) NA_m$ を満たすように設定されていることを特徴とする。

【0011】

ここで、本発明の望ましい実施態様としては次のものがあげられる。

- (1) ウェハ上のレジスト膜が抜けきった箇所に対応するマスクパターンの透光部面積を測定し、該面積を露光量に置き換えること。
- (2) ウェハ上のレジスト膜が所定膜厚になった箇所に対応するマスクパターンの透光部面積を測定し、該面積を露光量に置き換えること。
- (3) 光学顕微鏡の受光面での強度が所定値になった箇所に対応するマスクパターンの透光部面積を測定し、該面積を露光量に置き換えること。

【0012】

- (4) マスクパターンは、ラインアンドスペースパターンであること。
- (5) マスクパターンは、繰り返しのホールパターンであること。
- (6) マスクパターンは、菱形の繰り返しパターンであること。

【0013】

- (7) 複数種類のマスクパターンは、透光部面積の変化量が一定となるように設定されていること。
- (8) 複数種類のマスクパターンは、透光部面積の変化率が一定となるように設定されていること。

【0014】

(作用)

本発明では、遮光領域に対する開口領域の面積比（開口比）が微妙に異なった複数の繰り返しパターンを含むマスクを投影露光装置で露光し、現像する。このとき、透光部と遮光部の繰り返し周期 p を請求項 1, 7 のように設定することにより、マスクパターンにおける回折光（1 次以上の回折光）は投影レンズの瞳に入らず、直進光（0 次回折光）のみが瞳に入るようになる。つまり、マスクパターンのピッチは解像限界以下となる。そして、マスクパターンが解像限界以下のピッチであると、そのパターンは解像されず、開口比に応じてウェハ面上に到達する露光量が異なったフラット露光となる。このため、露光装置の設定露光量が同じでも開口比に応じてレジストの残膜量が変化する。

【0015】

従って、レジストが完全に抜けきった領域を光学顕微鏡で把握し、この領域を形成したマスクの開口比と対応付けることによって、実質的な露光量が判る。さらに、開口比が微妙に異なった複数の繰り返しパターンをウェハ全面に転写することにより、ウェハ面内の適正露光量変動が判ることになる。

10

20

30

40

50

【0016】

そしてこの場合、マスクパターンを解像しないため、フォーカス変動の影響を完全に排除することが可能となる。また、レジストが抜けきった境界を観測すればよいことから、低倍の光学顕微鏡でも十分測定可能であるため、露光量の正確な測定を短時間でかつ安価に行うことが可能となる。

【0017】

また、透光部と遮光部の繰り返し周期 p を請求項 2, 8 のように設定した場合は、マスクパターンは露光時には解像されるが検出の際は解像されないで、上記と同様にウェハ面内の適正露光量変動が判ることになる。

【0018】

そしてこの場合、ウェハ上でマスクパターンを解像するが、パターンサイズが大きいので微妙なフォーカス変動の影響などを受け難くすることができる。また、高精度マスクは必要なく、通常の精度のマスクで十分露光量変動に対する分解能が達成できる。さらに、ウェハ上のパターンが解像しないような低解像力で、かつ低倍の光学顕微鏡の測定となめたために、露光量の正確な測定を短時間でかつ安価に行うことが可能となる。

【0019】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の詳細を図示の実施形態によつて説明する。

(第1の実施形態)

図1～図5に従って、本発明に係わる第1の実施形態を説明する。本実施形態では、ピッチが一定で、ライン幅に対するスペース幅の比(開口比)が異なる複数のラインアンドスペースパターン(L/S)のマスクを用いた。以降、特に断りがない限り、マスク上の寸法はウェハ上に換算して記す。

【0020】

図1は、本実施形態で使用したマスクパターンの概念を示す平面図と断面図である。ピッチがウェハ上換算寸法で $0.3 \mu\text{m}$ 、倍率が4倍のCrマスクであって、図中10は透明基板、11はCr(遮光部)、12はスペース(透光部)である。スペース寸法は、ウェハ上換算寸法で 0.625 nm 刻みで変化させた。

【0021】

図2は、実際に用いたマスクパターンのレイアウトを示している。X方向に20ブロック、Y方向に12ブロックの計240ブロックに分けられており、その1つのブロックに1種類の開口比のL/Sが配置されている。図中の左上のブロック13_{first}がスペース寸法最小であり、右下のブロック13_{end}がスペース寸法最大となっている。また、後述のように低倍率の光学顕微鏡の視野に納まるように、図2のようなブロック配置としている。

【0022】

まず、上記のマスクを用いて条件出し露光を行った。Siウェハ上には塗布型反射防止膜 60 nm をスピンコーティングし、さらに感度 15 mJ/cm^2 の化学増幅系ポジ型レジストを厚さ $0.4 \mu\text{m}$ でスピンコーティングした。その後、100, 90秒でプリベーク処理を行った。一連の処理は、露光装置に連結されたトラックで行った。

【0023】

これらの処理が終了したウェハを露光装置に搬送し、上記マスクの露光を行った。投影光学系の縮小比は $1/4$ 、露光波長は 248 nm 、NAは 0.6 、照明コヒーレンスファクタは 0.3 であった。露光装置の設定露光量は 5 mJ/cm^2 から 25 mJ/cm^2 まで 0.2 mJ/cm^2 刻みで増加させた。

【0024】

露光が終了したウェハを再びトラックに搬送し、100, 90秒でポストベーク(PEB)した後、 0.21 規定のアルカリ現像液にて60秒現像を行った。このように処理されたウェハ上のパターンを光学顕微鏡で観察した。露光量 7.5 mJ/cm^2 での顕微鏡像を、図3に示す。図3は、図2に示したマスクパターンのウェハ上への転写像の一部

10

20

30

40

50

を模式的に示している。図3中のA, B等で示されている四角の1つが、図2で示した1つのブロックに相当している。L/Sのスペース幅に応じてレジスト膜厚が減少していることが判る。

【0025】

なお、図3において、顕微鏡での見え方としては、A点からB点まではレジストが徐々に薄くなるに伴い、干渉の影響で徐々に明るくなって見える。C点からD点まではほぼ一定であり、E点からレジスト下地の色が透けて見え始めF点までは徐々に色が変わっている。さらに、G点からレジスト下地が露出し始め、H点まではレジスト残りの影響で不均一な色となっている。そして、I点からはレジストが完全に除去されているため、下地の色がそのまま見えて均一になっている。この顕微鏡像から、レジストが抜けきった位置であるI点を容易に認識できた。

10

【0026】

レジストが抜けきった位置に対応するマスクスペース幅と露光装置の設定露光量の関係を、図4に示す。マスクスペース幅が広い方が、露光量変化に対して感度が高いことが判る。即ち、露光量を 7.5 mJ/cm^2 程度に設定して露光することによって、PEB、現像のウェハ面内不均一性、レジストのウェハ面内膜厚変動などが原因となった実効的な適正露光量のばらつきに対応して、レジストが抜けきる位置に対応するマスクスペース幅が感度良く変動する。

【0027】

次に、ウェハ面内の適正露光量のばらつきを測定するための露光を行った。露光装置の設定露光量は、上記の理由により 7.5 mJ/cm^2 とした。その他の条件は、上記の条件出し露光と同じである。ウェハ面内に前記図2のマスクパターンを転写し、光学顕微鏡でレジストが抜けきった位置を測定し、対応するL/Sのスペース幅を求めた。そして、前記図4によって露光量に換算した。その結果を、図5に3次元表示で示し、さらに図6に等高線表示で示す。ノッチを下にしてウェハの上側が実効的に2%程度適性露光量が高いことが判る。また、ウェハ面内での適正露光量ばらつきは3.8%程度であることが判った。

20

【0028】

図7に従って、本実施形態の作用を説明する。ここで、図中の30は透明基板、31は遮光部、32は透光部、33は投影レンズ、34は瞳、35はウェハ、36はレジスト、41は露光光、42は直進光(0次回折光)、43は回折光(±1次回折光)を示している。

30

【0029】

図7(a)に示すように、ピッチpが一定で、ライン幅Lに対するスペース幅Sの比(開口比)が異なる複数のL/Sのマスクを考える。このようなマスクパターンを照明すると、回折角度はピッチpで決定されるため、どのパターンでも同じ角度で回折する。ここで、±1次回折光43が投影レンズ33の瞳34に入らないようにピッチを決定する。すると、0次回折光42のみが投影レンズ33を通過するため、ウェハ35上にはパターンは形成されず、0次回折光42が単に照射されることとなる。

【0030】

図8で、さらに詳細なマスクパターン設計を説明する。図8は、露光装置の投影光学系のウェハ側NA、露光波長、照明のコヒーレンスファクタ、L/Sのピッチpに対するこれらの間の関係を示している。この図より、±1次回折光が投影レンズの瞳に入らないようなピッチp(ウェハ上換算ピッチ)は光源サイズ(コヒーレンスファクタ)まで考慮すると、

40

$$p < \frac{\lambda}{(1 + \text{NA})} \dots (\text{式1})$$

を満足する必要があることが判る。例えば、 $\lambda = 248 \text{ nm}$, $\text{NA} = 0.6$, $\text{NA} = 0.3$ なら、 $p < 0.318 \mu\text{m}$ となり、本実施形態においてピッチ $0.3 \mu\text{m}$ としたのは道理にかなっているといえる。

【0031】

50

次に、マスク上のL/Sの開口比が異なる場合を考える。マスク上のL/Sの開口比が異なると、前記図7(a)に示すようにマスクパターンを通過する光量、0次回折光と1次回折光の配分比がそれぞれ変化する。その結果、0次回折光強度がマスク上のL/Sの開口比に依存して変化する。つまり、開口比の異なったL/Sは透過率の異なったフィルムと同等の機能を果たすことになる。従って本マスクを用いて露光すると、図7(b)に示すように、開口比に応じてレジストの抜けが変化することとなる。

【0032】

定量的には、2種類の開口比のL/Sにおけるスペース幅の比の2乗は0次回折光の強度比に比例する。つまり、適正露光量のばらつきに対する本実施形態の分解能は、スペース幅が最も近い2種類の開口比のL/Sにおけるスペース幅の比の2乗である。本実施形態

10

$$(260.625 / 260)^2 = 1.00481$$

となり、0.48%程度の分解能があることが判る。

【0033】

このように本実施形態では、マスクパターンにおける透光部と遮光部の繰り返しピッチpを前記(式1)のように設定し、マスクパターンを解像しないようにしているため、フォーカス変動の影響を完全に除去することができる。また、レジストが抜けきった境界を観測すればよいことから、低倍の光学顕微鏡でも十分測定可能であるため、露光量の正確な測定を短時間でかつ安価に行うことができる。即ち、フォーカス変動の影響を受けることなく、露光量を短時間でかつ正確に測定することが可能となる。

20

【0034】

(第2の実施形態)

図9~図11に従って、本発明に係わる第2の実施形態を説明する。本実施形態方法では、ピッチが一定で、ライン幅に対するスペース幅の比(開口比)が異なる複数のL/Sのマスクを用いることにおいては第1の実施形態と同じであるが、そのピッチは2.6μmと大きくした。第1の実施形態ではマスクパターンがウェハ上に転写されない条件で露光を行ったのに対し、本実施形態ではマスクパターンをウェハ上に転写し、そのウェハ上パターンが解像できない条件で光学顕微鏡にて観察することを特徴とする。

30

【0035】

図9は、本実施形態で使用したマスクパターンの概念を示す平面図と断面図である。ピッチがウェハ上換算寸法で2.6μm、倍率が4倍のCrマスクであって、図中80は透明基板、81はCr、82はスペースである。スペース寸法はウェハ上換算寸法6.25nm刻みで変化した。

【0036】

図10は、実際に用いたマスクパターンレイアウトを示している。X方向に20ブロック、Y方向に12ブロックの計240ブロックに分けられており、その1つのブロックに1種類の開口比のL/Sが配置されている。後述のように低倍の光学顕微鏡の視野に納まるように、図10のようなブロック配置とした。

40

【0037】

まず、上記のマスクを用いて条件出し露光を行った。条件出し露光時の露光装置のコヒーレンスファクタが0.75であったこと以外は、第1の実施形態での条件出し露光と同じようにした。

【0038】

このように処理されたウェハ上のパターンを光学顕微鏡で観察した。この光学顕微鏡の対物レンズのNAは0.12、波長は550nm、コヒーレンスファクタは0.7であった。この条件ではパターンは分解解像せず、検出像としては0次回折光に対応した一定強度を示した。この強度が所定値となる露光装置の露光量とマスクスペース幅との関係を、図11に示す。マスクスペース幅が広い方が、露光量変化に対して感度が高いことが判る

50

。即ち、露光量を 7.5 mJ/cm^2 程度に設定して露光することによって、PEB、現像のウェハ面内不均一性、レジストのウェハ面内膜厚変動などが原因となった実効的な適正露光量のばらつきに対応して、顕微鏡による検出像の強度が所定値になる位置に対応するマスクスペース幅が感度良く変動する。

【0039】

次に、ウェハ面内の適正露光量ばらつきを測定するための露光を行った。露光装置の設定露光量は上記の理由により 7.5 mJ/cm^2 とした。その他の条件は、上記の条件出し露光と同じである。ウェハ面内に図10のマスクパターンを転写し、光学顕微鏡で強度が所定値になる位置を測定し、対応するL/Sのスペース幅を求めた。そして、図11によって露光量に換算した。その結果は、前記図5と同じとなり、ノッチを下にしてウェハの上側が実効的に2%程度適正露光量が高いことが判り、ウェハ面内での適正露光量ばらつきは、3.8%程度であることが判った。

10

【0040】

図12及び図13に従って、本実施形態の作用を説明する。ピッチpが一定で、ライン幅Lに対するスペース幅Sの比（開口比）が異なる複数のL/Sのマスクを考える。このようなマスクパターンを照明すると、図12(a)のように回折角度はピッチで決定されるため、どのパターンでも同じ角度で回折する。本実施形態では少なくとも±1次回折光43が投影レンズ33の瞳34に入るようにピッチを決定する。この場合の条件は、前記(式1)とは逆に、

$$p > \lambda / (1 + \text{NA}) \quad \dots \text{(式2)}$$

20

である。すると、図12(b)に示すように、ウェハ35上にレジスト36のパターンが形成される。

【0041】

次に、このウェハ上のパターンを光学顕微鏡で観察する。このとき、ウェハ上に形成されたL/Sが分解像しない条件で観察する。

図13(a)に示すように、ピッチpが一定で、ライン幅Lに対するスペース幅Sの比（開口比）が異なる複数のL/Sを考える。このようなウェハ上パターンを照明すると、回折角度はピッチpで決定されるため、どのパターンでも同じ角度で回折する。ここで、±1次回折光63が対物レンズ53の瞳54に入らないようにピッチを決定する。すると、0次回折光62のみが対物レンズ53を通過するため、光学顕微鏡の受光部55には1次回折光63は入射せず、0次回折光62のみが入射することとなる。

30

【0042】

光学顕微鏡の対物レンズの開口数を NA_m 、波長を λ_m 、照明のコヒーレンスファクタを σ_m 、ウェハ上のL/Sのピッチをpとすると、±1次回折光が投影レンズの瞳に入らないようなピッチpは光源サイズ（コヒーレンスファクタ）まで考慮すると

$$p > \lambda_m / (1 + \sigma_m \text{NA}_m) \quad \dots \text{(式3)}$$

を満足する必要があることが判る。例えば、 $\lambda_m = 550 \text{ nm}$ 、 $\text{NA}_m = 0.12$ 、 $\sigma_m = 0.7$ なら、 $p > 2.7 \mu\text{m}$ となり、本実施形態においてピッチ $2.6 \mu\text{m}$ としたのは道理にかなっているといえる。

【0043】

40

次に、ウェハ上のL/Sの開口比が異なる場合を考える。ウェハ上のL/Sの開口比が異なると、図13(a)(b)に示すようにウェハ35から回折する光量、0次回折光62と1次回折光63の配分比がそれぞれ変化する。その結果、0次回折光強度がウェハ35上のL/Sの開口比に依存して変化する。従って、本ウェハを光学顕微鏡で観測すると、開口比に応じて受光面での強度が変化する事となる。

【0044】

定量的には、2種類の開口比のL/Sにおけるスペース幅の比の2乗は0次回折光の強度比に比例する。つまり、適正露光量のばらつきに対する本実施形態の分解能は、スペース幅が最も近い2種類の開口比のL/Sにおけるスペース幅の比の2乗である。本実施形態で使用したL/Sは 6.25 nm 刻みでスペース幅が変化しているため、抜け露光量7.

50

$5 \text{ mJ} / \text{cm}^2$ 付近に対応するスペース幅 2253 nm での感度は、
 $(2259.25 / 2253)^2 = 1.00555$
 となり、 0.56% 程度の分解能があることが判る。

【0045】

このように本実施形態では、マスクパターンにおける透光部と遮光部の繰り返しピッチ p を前記(式2)のように設定しており、第1の実施形態とは異なり、ウェハ上でパターンを解像するが、パターンサイズが大きいので微妙なフォーカス変動の影響などを受け難く、安定している。さらに、ピッチ p を前記(式3)のように設定することにより、パターンが分解解像できない条件で光学顕微鏡にて観察することができ、ウェハ上の L/S の開口比を精度良く測定することができる。

10

【0046】

また、第1の実施形態のようにウェハ上換算 0.625 nm ステップでスペース幅を変化させるといったような高精度マスクは必要なく、ウェハ上換算で 6.25 nm ステップ程度の通常の精度のマスクでも露光量変動を十分精度良く測定することができる。従って、先の第1の実施形態と同様に、フォーカス変動の影響を受けることなく、露光量を短時間でかつ正確に測定することが可能となる。

【0047】

(変形例)

以上述べた2つの実施形態で用いたマスクパターンは L/S であったが、本発明はこれに限定されるものではなく、例えば図14(a)のようなくさび型のパターンでもよい。第1の実施形態の方式に従ってこのパターンを使用する場合には、そのピッチは(式1)の条件に従い、第2の実施形態の方式に準じる場合には、そのピッチは(式2)(式3)の条件に従う。

20

【0048】

先端に行くに従い C_r パターンが細くなっているので、(式1)に示す露光条件、即ちパターンを解像しない条件で転写すると、ウェハ上では図14(b)に示すように、マスクパターンの先端に対応する場所に行くに従いレジスト残膜が減少する。レジストが抜けきった位置間の寸法 L を測定することによって実質的な露光量を把握することが可能である。くさび型が鋭利であるほど露光量のばらつきに対する感度が高くなる。

【0049】

また、(式2)(式3)に示す露光条件で転写すると、ウェハ上にパターンが形成され、そのパターンを第2の実施形態に記載した条件の光学顕微鏡で観測すると、その受光面ではパターンの先端に対応する場所に行くに従い光強度が増大する。光強度がある値を示す位置間の寸法 L を測定することによって実質的な露光量を把握することが可能である。

30

【0050】

実際のマスク作成の制約も考慮に入れ、図14(c)のようにステップ的に白黒比が変化しているパターンでもよい。さらに、図14(a)(c)の白黒反転パターンでも同様の効果が得られる。

【0051】

また、図15(a)(b)に示すように、周期的なホールパターンでも同様の効果が得られる。図15(a)のように直交座標上にホールパターンが配置されている場合には、 x 方向ピッチ p_1 と y 方向ピッチ p_2 のいずれも(式1)、又は(式2)(式3)を満足し、かつ開口部の大きさが微妙に異なる複数種類のパターンが存在すればよい。さらに、図15(b)に示すように、直交しない座標上にホールパターンが配置されている場合には、 p_1 、 p_2 、 p_3 のいずれのピッチも(式1)、又は(式2)(式3)を満足し、かつ開口部の大きさが微妙に異なる複数種類のパターンが存在すればよい。いずれの場合でも、図15の白黒反転パターンでも同様の効果が得られる。

40

【0052】

また、図16に示すように、より一般的には、第1の実施形態の方式に従う場合には(式1)を満たすピッチ p の周期を有する繰り返しパターンであり、その開口面積が S_1 、

50

S_2 , S_3 と微妙に変化している複数のパターンが存在していることが肝要ある。また、第2の実施形態の方式に従う場合には(式2)(式3)を満たすピッチ p の周期を有する繰り返しパターンであり、その開口面積が S_1 , S_2 , S_3 と微妙に変化している複数のパターンが存在していることが肝要ある。さらに、図16の白黒反転パターンでも同様の効果が得られる。

【0053】

また、実施形態における(式1)~(式3)では、ピッチ p をウェハ上換算したものとしたが、マスク上のピッチ p をそのまま用いると、投影レンズの倍率が M であることから以下の(式1)'~(式3)'のようになる。

【0054】

$$p / M < \lambda / (1 + \sqrt{2}) NA \quad \dots (式1)'$$

$$p / M > \lambda / (1 + \sqrt{2}) NA \quad \dots (式2)'$$

$$p / M < \lambda_m / (1 + \sqrt{2}) NA_m \quad \dots (式3)'$$

その他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々変形して実施することができる。

【0055】

【発明の効果】

以上詳述したように本発明によれば、透光部と遮光部の繰り返しピッチ p を前述した範囲に設定し、透光部と遮光部の割合が異なる複数種類のマスクパターンをウェハ上に露光し、各マスクパターンに対応するウェハ上のパターンを観察することによって、フォーカス変動の影響を受けることなく、露光量を短時間でかつ正確に測定することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施形態で使用したマスクパターンの概念を示す断面図と平面図。

【図2】第1の実施形態にて実際に使用したマスクを示す平面図。

【図3】第1の実施形態にて露光されたウェハ上のパターンを観察した結果を示す図。

【図4】第1の実施形態にて得られた抜け露光量に対するマスクスペース寸法の関係を示す図。

【図5】第1の実施形態の効果を説明するためのもので、適正露光量を3次元表示して示す図。

【図6】第1の実施形態の効果を説明するためのもので、適正露光量を等高線表示して示す図。

【図7】第1の実施形態の作用を説明するための図。

【図8】第1の実施形態にて使用したマスクのピッチの根拠を説明するための図。

【図9】第2の実施形態にて使用したマスクの概念を示す断面図と平面図。

【図10】第2の実施形態にて実際に使用したマスクを示す平面図。

【図11】第2の実施形態にて得られた露光量に対するマスクスペース寸法の関係を示す図。

【図12】第2の実施形態の作用を説明するための図。

【図13】第2の実施形態の作用を説明するための図。

【図14】第1及び第2の実施形態にて使用できるパターンの別の例(菱形パターン)を示す図。

【図15】第1及び第2の実施形態にて使用できるパターンの別の例(繰り返しホールパターン)を示す図。

【図16】第1及び第2の実施形態包括する一般的なパターンの例を示す図。

【符号の説明】

10, 30, 80 ... 透明基板

11, 31, 81 ... 遮光部

12, 32, 82 ... 透光部

13 ... ブロック

33 ... 投影レンズ

34 ... 投影レンズの瞳

10

20

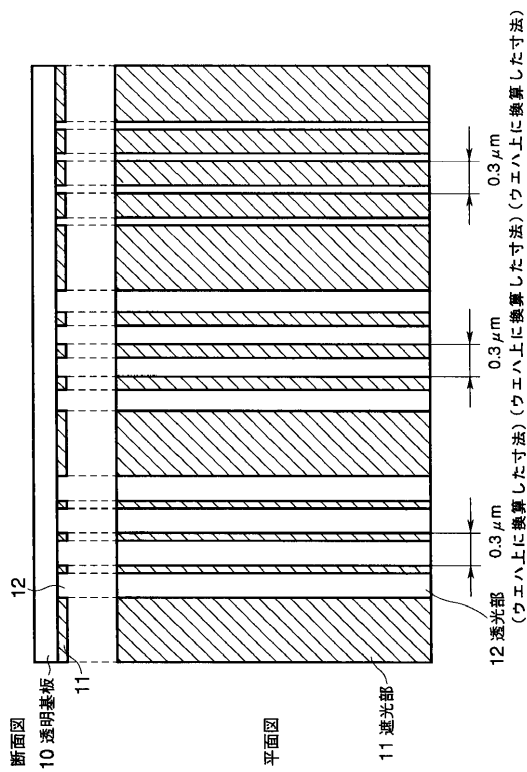
30

40

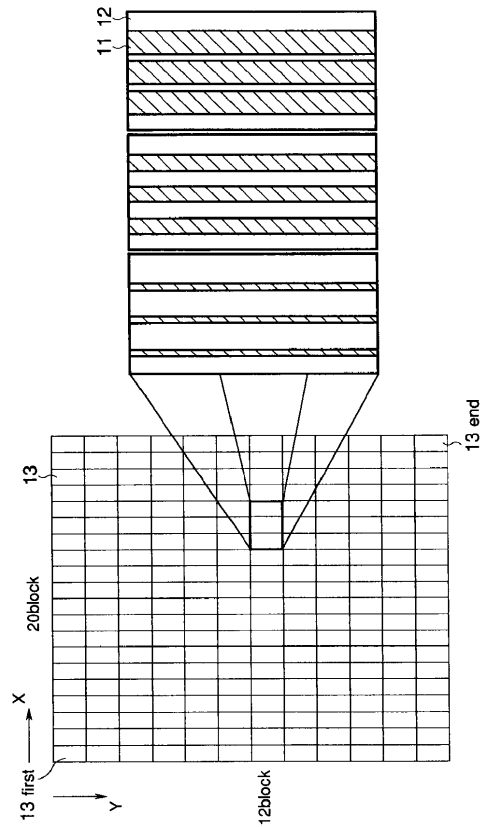
50

- 3 5 ... ウェハ
- 3 6 ... レジスト
- 4 1 ... 露光光
- 4 2 , 6 2 ... 直進光 (0 次回折光)
- 4 3 , 6 3 ... 回折光 (1 次回折光)
- 5 3 ... 対物レンズ
- 5 4 ... 対物レンズの瞳
- 5 5 ... 受光部

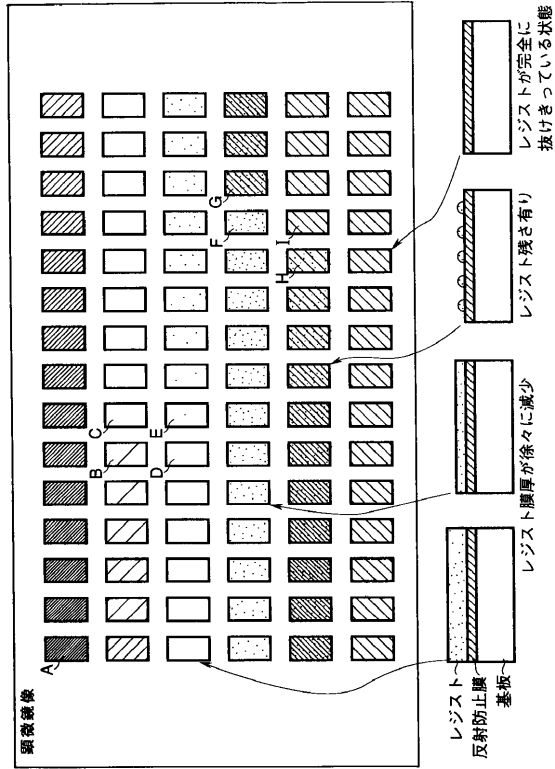
【 図 1 】



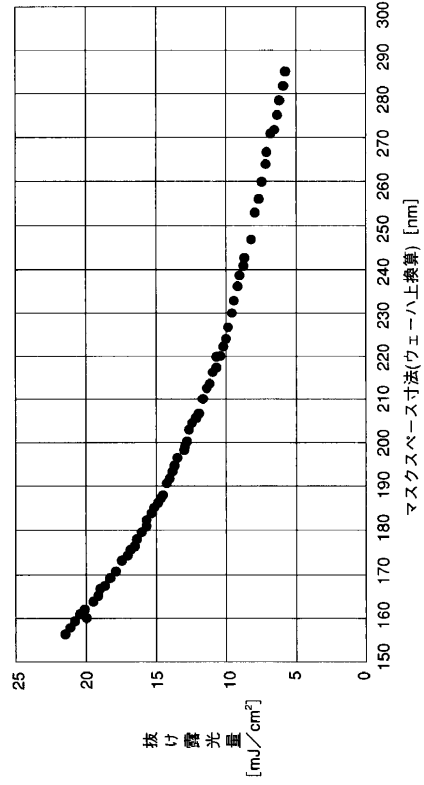
【 図 2 】



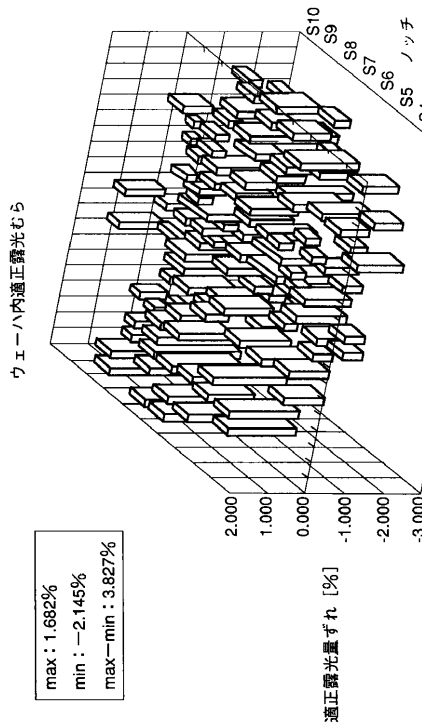
【 図 3 】



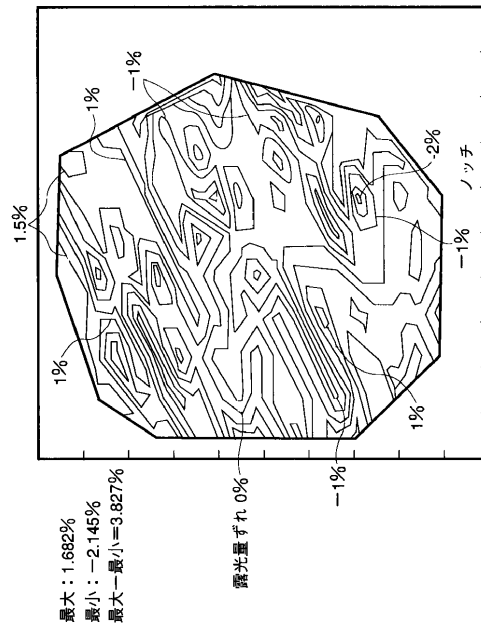
【 図 4 】



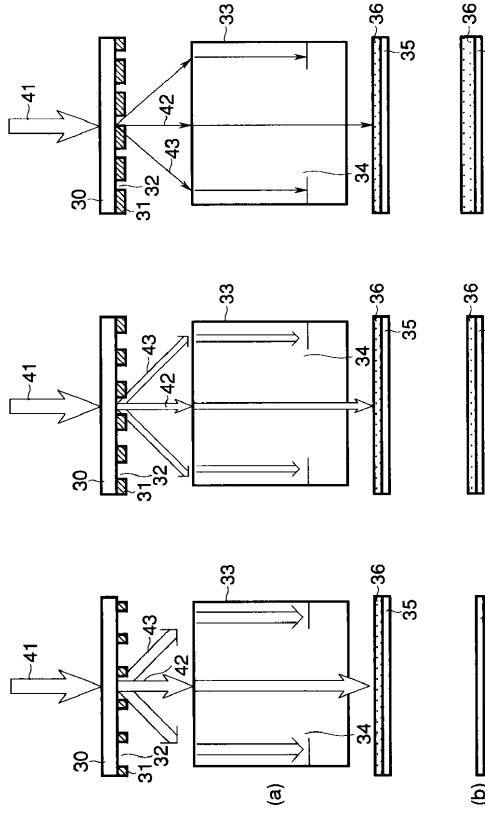
【 図 5 】



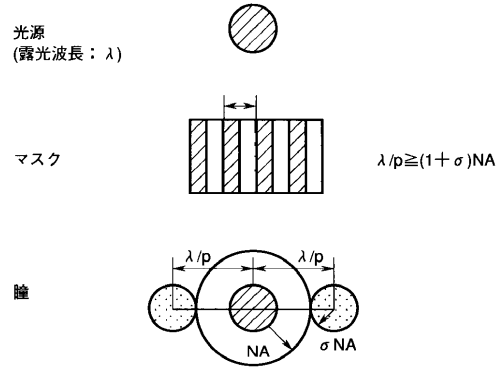
【 図 6 】



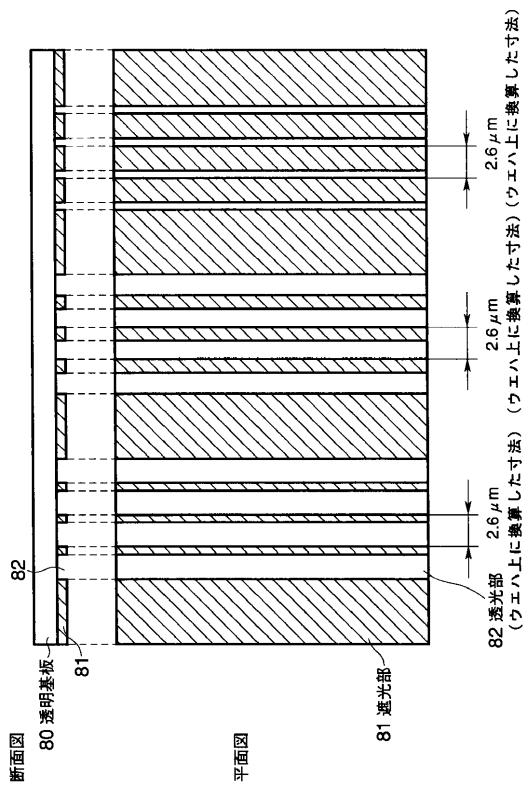
【 図 7 】



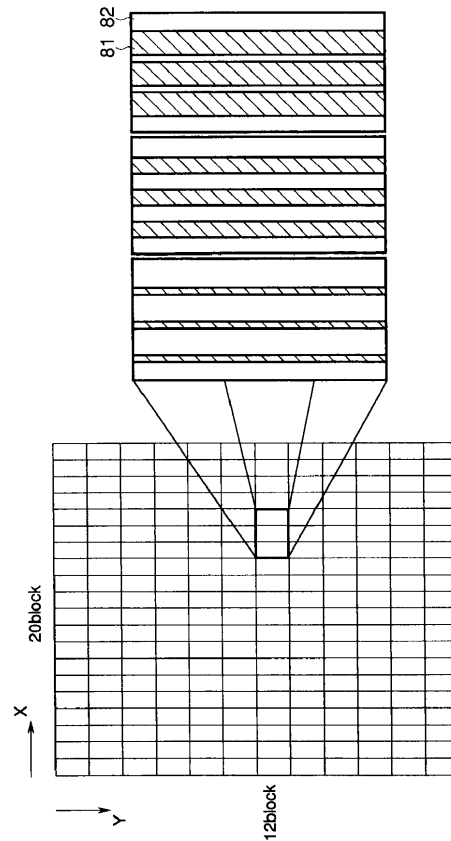
【 図 8 】



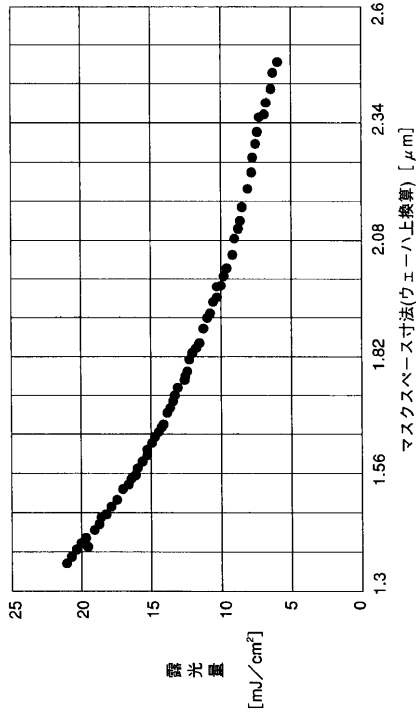
【 図 9 】



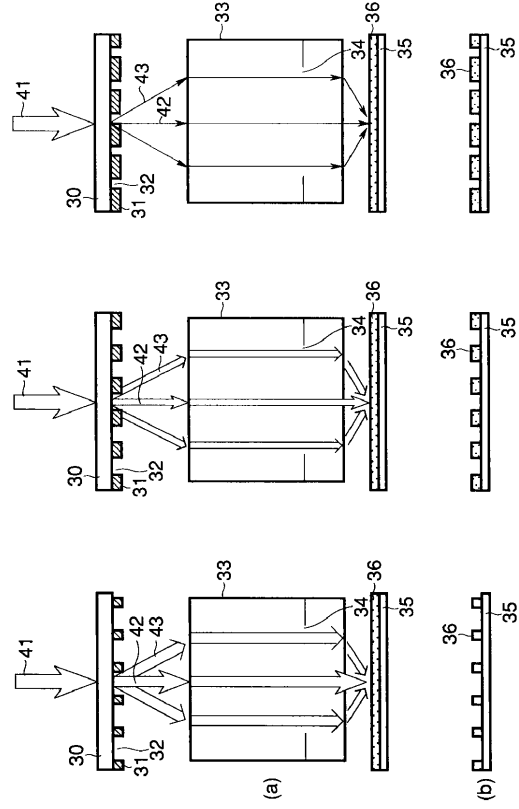
【 図 10 】



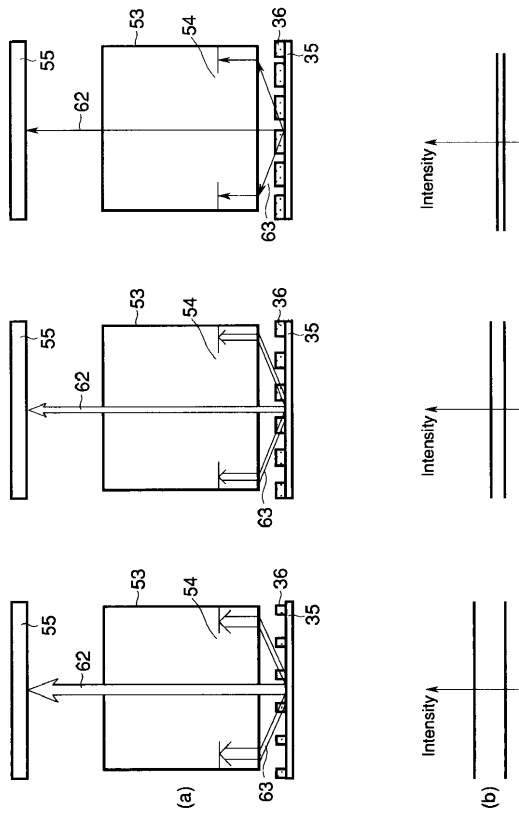
【図 1 1】



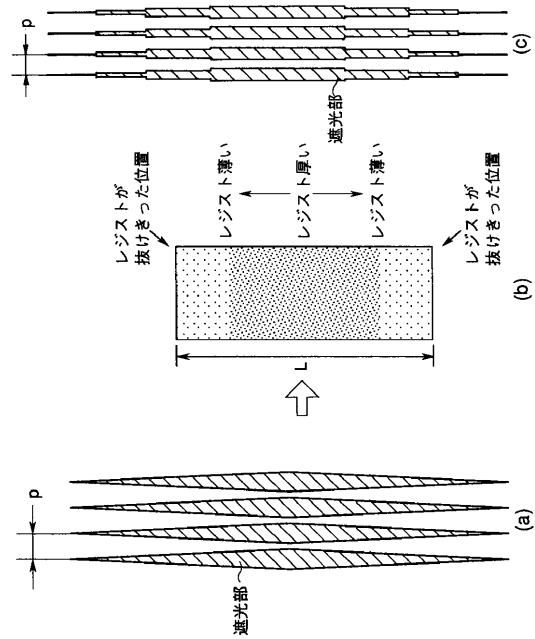
【図 1 2】



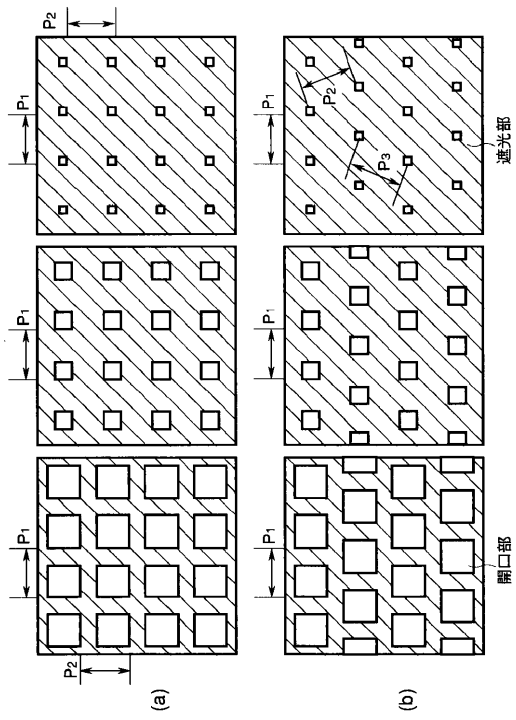
【図 1 3】



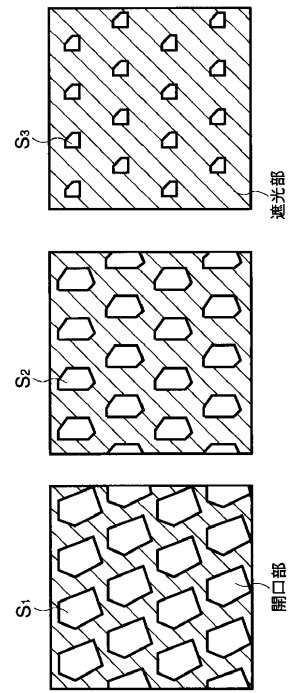
【図 1 4】



【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



フロントページの続き

- (74)代理人 100070437
弁理士 河井 将次
- (72)発明者 井上 壮一
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横浜事業所内
- (72)発明者 早崎 圭
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横浜事業所内
- (72)発明者 伊藤 信一
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横浜事業所内

審査官 岩本 勉

- (56)参考文献 特開昭62-299969(JP,A)
特開平02-294643(JP,A)
特開平02-157844(JP,A)
特開平07-326563(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)
H01L 21/027
G03F 1/08