

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3971255号
(P3971255)

(45) 発行日 平成19年9月5日(2007.9.5)

(24) 登録日 平成19年6月15日(2007.6.15)

(51) Int. Cl. F I
H O 1 L 21/027 (2006.01) H O 1 L 21/30 5 1 6 D

請求項の数 13 (全 20 頁)

| | | | |
|-----------|------------------------------|-----------|----------------|
| (21) 出願番号 | 特願2002-194927 (P2002-194927) | (73) 特許権者 | 000003078 |
| (22) 出願日 | 平成14年7月3日(2002.7.3) | | 株式会社東芝 |
| (65) 公開番号 | 特開2004-39860 (P2004-39860A) | | 東京都港区芝浦一丁目1番1号 |
| (43) 公開日 | 平成16年2月5日(2004.2.5) | (74) 代理人 | 100058479 |
| 審査請求日 | 平成16年8月25日(2004.8.25) | | 弁理士 鈴江 武彦 |
| | | (74) 代理人 | 100084618 |
| | | | 弁理士 村松 貞男 |
| | | (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 |
| | | (74) 代理人 | 100070437 |
| | | | 弁理士 河井 将次 |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 露光量モニタ方法及び半導体デバイスの製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

投影露光装置内に設置され、前記投影露光装置で解像することができない一定幅 p 内に遮光部と透光部とが一方方向に配列された複数のブロックが断続的、または連続的に前記一方方向に配列され、該ブロックの遮光部と透光部との寸法比が前記一方方向に単調に変化する露光量モニタパターンが形成されたマスクに照明光を照明し、

前記露光量モニタパターンの回折光のうち0次回折光だけを前記投影露光装置の瞳面内を通過させ、

基板上に露光量モニタパターンの0次光像を転写して、露光量を測定する露光量モニタ方法であって、

前記照明光の照明時、前記投影露光装置の瞳面上における前記露光量モニタパターンを通過した0次回折光像の重心を前記投影露光装置の光軸からずらすことを特徴とする露光量モニタ方法。

【請求項2】

前記投影露光装置の照明は、略円形の面光源から照射された照明光の中心が光軸に略一致する通常照明、又は輪帯照明であることを特徴とする請求項1に記載の露光量モニタ方法。

【請求項3】

前記投影露光装置の露光波長が λ 、前記基板側開口数が NA 、コヒーレントファクターが CF であり、コヒーレントファクター CF で換算した前記投影露光装置の瞳面内での前記0次

回折光像の重心のずらし量が の場合、
前記基板上での換算寸法における前記幅 p は、

【数 1】

$$p \leq \frac{\lambda}{NA\sqrt{(1 + \sigma)^2 - (\Delta\sigma)^2}}$$

の条件を満たすことを特徴とする請求項 1 に記載の露光量モニタ方法。

【請求項 4】

前記露光量モニタパターンの上部又は下部に、プリズム又は位相シフトグレーティングを含む光学素子を配置した状態で前記照明光を前記マスクに照明することを特徴とする請求項 1 に記載の露光量モニタ方法。

10

【請求項 5】

前記一方向に直交する方向に、前記瞳面内における前記 0 次回折光像をずらすことを特徴とする請求項 1 に記載の露光量モニタ方法。

【請求項 6】

二つの偏芯光源が光軸に対して点对称に配置された 2 重極照明を具備する投影露光装置に設置され、

前記投影露光装置で解像することができない一定幅 p 内に遮光部と透光部とが一方向に配列された複数のブロックが断続的、または連続的に前記一方向に配列され、該ブロックの遮光部と透光部との寸法比が前記一方向に単調に変化する露光量モニタパターンが形成されたマスクに照明光を照明し、

20

前記露光量モニタパターンの回折光のうち 0 次回折光だけを前記投影露光装置の瞳面内を通過させ、

基板上に露光量モニタパターンの 0 次回折光像を転写して、露光量を測定する露光量モニタ方法であって、

前記一方向は前記二つの偏芯光源の配列方向に略直交する方向であることを特徴とする露光量モニタ方法。

【請求項 7】

前記投影露光装置の露光波長が、感光性基板側開口数が NA 、コヒーレントファクターが であり、

30

コヒーレントファクター で換算した光軸から偏芯光源中心までの距離、及び偏芯光源の半径がそれぞれ、及び、の場合、

前記基板上での換算寸法における前記幅 p は、

【数 2】

$$p \leq \frac{\lambda}{NA\sqrt{(1 + \sigma_r)^2 - (\sigma_l)^2}}$$

の条件を満たすことを特徴とする請求項 6 に記載の露光量モニタ方法。

40

【請求項 8】

4 つの偏芯光源が、光軸に対して 4 回対称で配置された 4 重極照明を具備する投影露光装置に設置され、

前記投影露光装置で解像することができない一定幅 p 内に遮光部と透光部とが一方向に配列された複数のブロックが断続的、または連続的に前記一方向に配列され、該ブロックの遮光部と透光部との寸法比が前記一方向に単調に変化する露光量モニタパターンが形成されたマスクに照明光を照明し、

前記露光量モニタパターンの回折光のうち 0 次回折光だけを前記投影露光装置の瞳面内を通過させ、

基板上に露光量モニタパターンに 0 次回折光像を転写して、露光量を測定する露光量モニタ方法であって、

50

タ方法であって、

前記一方向は、光軸を通り、前記偏芯光源の中心を通らない2本の対称軸の一方に略平行であることを特徴とする露光量モニタ方法。

【請求項9】

前記投影露光装置の露光波長が λ 、感光性基板側開口数が NA 、コヒーレントファクターが σ_1 であり、

前記光軸から前記偏芯光源中心までの距離及び偏芯光源の半径をコヒーレントファクターで換算した値がそれぞれ r_1 及び r_2 、

前記一方の対称軸と前記偏芯光源中心との見こみ角度を θ とした場合、

前記基板上の換算寸法における前記幅 p は、

【数3】

$$p \leq \frac{\lambda}{NA} \left\{ \frac{-\sigma_1 \cos \theta + \sqrt{\sigma_1^2 \cos^2 \theta + (1 + \sigma_r)^2 - \sigma_1^2}}{(1 + \sigma_r)^2 - \sigma_1^2} \right\}$$

の条件を満たすことを特徴とする請求項8に記載の露光量モニタ方法。

【請求項10】

4つの偏芯光源が、光軸に対して2回対称で配置された4重極照明を具備する投影露光装置に、

前記投影露光装置で解像することができない一定幅 p 内に遮光部と透光部とが一方向に配列された複数のブロックが断続的、または連続的に前記一方向に配列され、該ブロックの遮光部と透光部との寸法比が前記一方向に単調に変化する露光量モニタパターンが形成されたマスクに照明光を照明し、

前記露光量モニタパターンの回折光のうち0次回折光だけを前記投影露光装置の瞳面内を通過させ、

基板上に露光量モニタパターンを転写して、露光量を測定する露光量モニタ方法であって、

前記一方向は、2本の対称軸のうち、前記偏芯光源中心からの距離が離れている対称軸に略平行であることを特徴とする露光量モニタ方法。

【請求項11】

前記投影露光装置の露光波長が λ 、感光性基板側開口数が NA 、コヒーレントファクターが σ_1 、

コヒーレントファクター σ_r で換算した前記光軸から偏芯光源中心までの距離及び偏芯光源の半径がそれぞれ r_1 及び r_2 であり、

前記偏芯光源中心からの距離が離れている対称軸と前記偏芯光源中心との見こみ角度を θ とした場合、

前記基板上での換算寸法における前記幅 p は、

【数4】

$$p \leq \frac{\lambda}{NA} \left\{ \frac{-\sigma_1 \cos \theta + \sqrt{\sigma_1^2 \cos^2 \theta + (1 + \sigma_r)^2 - \sigma_1^2}}{(1 + \sigma_r)^2 - \sigma_1^2} \right\}$$

の条件を満たすことを特徴とする請求項10に記載の露光量モニタ方法。

【請求項12】

前記基板は、レジスト膜を具備し、前記露光量モニタパターンの0次回折光像は前記レジスト膜に転写され、

10

20

30

40

50

前記レジスト膜に転写された潜像、又は前記レジスト膜を現像して得られるパターンの前記一方向の長さから露光量を測定することを特徴とする請求項 1 ~ 11 の何れかに記載の露光量モニタ方法。

【請求項 13】

請求項 1 ~ 12 の何れかに記載された露光量モニタ方法により基板上での露光量を測定し、測定値に基づいて露光量を校正し、

露光量の校正後、半導体基板上に形成されたレジスト膜に半導体デバイスパターンを転写することを特徴とする半導体デバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

10

【発明の属する技術分野】

本発明は、リソグラフィ工程における露光量を高精度にモニタする露光量モニタ方法及び半導体デバイスの製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

半導体装置のデバイスパターンの微細化の要求から、露光波長の短波長化、及び、投影レンズの高NA化がなされており、それと同時にプロセスの改善が行われてきた。しかしながら、近年のデバイスパターンの微細化への要求はさらに厳しい。その結果、露光量裕度と焦点深度の露光マージンを十分に得ることが難しく、歩留まりの減少を引き起こしていた。このため、少ない露光量裕度を有効に使用し、歩留まりの低下を防ぐために、より高

20

【0003】

通常、露光量は、パターンの線幅の測定により判断している。しかしながら、パターンの線幅は、露光量だけでなくフォーカスによっても変化する。パターンがより微細になるほど、フォーカスエラーがパターンの線幅に与える影響を無視できなくなる。よって、適正露光量値の変動による影響か、フォーカス値の変動による影響か判断が難しい。従って、最小設計ルールのパターンの露光を高精度に実現するには、露光量、及び、フォーカスの双方を別々に高精度にモニタし、それぞれを別個に管理することが求められていた。

【0004】

フォーカス変動の影響を受けない実効的な露光量を測定する手法として、SPIE Vol.1261 Integrated Circuit Metrology, Inspection, and Process Control IV (1990) p.315 において、フォーカスエラーによる線幅の影響が付加されない露光量モニタパターンについて提案がなされている。この露光量モニタパターンの特徴は、使用する投影露光装置において解像しない幅のブロック内に透光部と遮光部とが一方向に配列されている。それぞれ透光部と遮光部との寸法比が異なる複数のブロックを、前記一方向に寸法比を単調に変化させて配列する。

30

【0005】

この露光量モニタパターンに照明光を照射すると、フォーカスの状態に依存しない照射量の傾斜分布を持った潜像が基板上のレジスト膜に形成される。レジスト膜に形成された潜像、又はレジスト膜を現像して得られるパターンの一方向の長さを測定することによって、露光量が測定される。

40

【0006】

露光量モニタパターンの感度は、デューティー比をどれだけ細かく設定できるかどうかで決まる。ブロックの幅 p が大きく、デューティー比が細かい程、高感度の露光量モニタパターンが形成できる。

【0007】

設計ルールの微細化に伴い露光装置は高NA化、短波長化、高NA化の傾向がある。よって、必要とされる露光量モニタパターン内ブロックの幅 p は益々微細化される傾向にある。さらには、デューティー比についても、デザイン上のパターンインクリメントを極端に細かく設定することは、マスク製作上困難である。以上の理由から、露光量モニタパターン

50

に必要とされる実効露光量の感度を得ることがむずかしくなっている。

【0008】

たとえば、実効的な露光量をモニタしたいマスクが、露光条件を開口数NAが0.68、コヒーレントファクターが0.85、波長が0.193 μmの露光装置にセットされた場合を考える。この装置で解像しないブロックの幅p（ウエハ上寸法）の条件は、回折理論より、

【数5】

$$\frac{1}{p} \geq (1 + \sigma) \frac{NA}{\lambda}$$

$$p \leq \frac{\lambda}{NA(1 + \sigma)} \quad \dots (1)$$

10

となる。(1)式より、幅pを0.15 μm以下にすることが必要である。0.15 μm以下の幅のブロックを、精度良く作成することは困難な状況である。また、露光量モニタパターンの検出感度を上げるには、前記デューティ比をできるだけ細かく設定することが求められており、さらに、製作上困難である。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

上述したように、露光量モニタパターンを精度良く製造することが困難である。その結果、露光量モニタパターンに必要とされる実効露光量の感度を得ることが困難であるという問題があった。

20

【0010】

精度良く露光量を測定することが困難であるという問題があった。

【0011】

本発明の目的は、露光量モニタパターンの設計条件の緩和を図り、必要とされる露光量の感度を容易に得ることができる露光量モニタ方法及び半導体デバイスの製造方法を提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】

(1)本発明の一例に係わる露光量モニタ方法は、投影露光装置内に設置され、前記投影露光装置で解像することができない一定幅p内に遮光部と透光部とが一方向に配列された複数のブロックが断続的、または連続的に前記一方向に配列され、該ブロックの遮光部と透光部との寸法比が前記一方向に単調に変化する露光量モニタパターンが形成されたマスクに照明光を照明し、前記露光量モニタパターンの回折光のうち0次回折光だけを前記投影露光装置の瞳面内を通過させ、基板上に露光量モニタパターンの0次光像を転写して、露光量を測定する露光量モニタ方法であって、前記照明光の照明時、前記投影露光装置の瞳面上における前記露光量モニタパターンを通過した0次回折光像の重心を前記投影露光装置の光軸からずらすことを特徴とする。

30

40

【0013】

(2)本発明の一例に係わる露光量モニタ方法は、二つの偏芯光源が光軸に対して点对称に配置された2重極照明を具備する投影露光装置に設置され、前記投影露光装置で解像することができない一定幅p内に遮光部と透光部とが一方向に配列された複数のブロックが断続的、または連続的に前記一方向に配列され、該ブロックの遮光部と透光部との寸法比が前記一方向に単調に変化する露光量モニタパターンが形成されたマスクに照明光を照明し、前記露光量モニタパターンの回折光のうち0次回折光だけを前記投影露光装置の瞳面内を通過させ、基板上に露光量モニタパターンの0次回折光像を転写して、露光量を測定する露光量モニタ方法であって、前記一方向は前記二つの偏芯光源の配列方向に略直交する方向であることを特徴とする。

50

【0014】

(3) 本発明の一例に係わる露光量モニタ方法は、4つの偏芯光源が、光軸に対して4回対称で配置された4重極照明を具備する投影露光装置に設置され、前記投影露光装置で解像することができない一定幅 p 内に遮光部と透光部とが一方向に配列された複数のブロックが断続的、または連続的に前記一方向に配列され、該ブロックの遮光部と透光部との寸法比が前記一方向に単調に変化する露光量モニタパターンが形成されたマスクに照明光を照明し、前記露光量モニタパターンの回折光のうち0次回折光だけを前記投影露光装置の瞳面内を通過させ、基板上に露光量モニタパターンに0次回折光像を転写して、露光量を測定する露光量モニタ方法であって、前記一方向は、光軸を通り、前記偏芯光源の中心を通らない2本の対称軸の一方に略平行であることを特徴とする。

10

【0015】

(4) 本発明の一例に係わる露光量モニタ方法は、4つの偏芯光源が、光軸に対して2回対称で配置された4重極照明を具備する投影露光装置に、前記投影露光装置で解像することができない一定幅 p 内に遮光部と透光部とが一方向に配列された複数のブロックが断続的、または連続的に前記一方向に配列され、該ブロックの遮光部と透光部との寸法比が前記一方向に単調に変化する露光量モニタパターンが形成されたマスクに照明光を照明し、前記露光量モニタパターンの回折光のうち0次回折光だけを前記投影露光装置の瞳面内を通過させ、基板上に露光量モニタパターンを転写して、露光量を測定する露光量モニタ方法であって、前記一方向は、2本の対称軸のうち、前記偏芯光源中心からの距離が離れている対称軸に略平行であることを特徴とする。

20

【0016】

【発明の実施の形態】

本発明の実施の形態を以下に図面を参照して説明する。

【0017】

(第1の実施形態)

図1に、本発明の第1の実施形態に係わる露光量モニタパターンの構成を示す平面図を示す。

図1に示すように、露光量モニタパターン100は、透光部101と遮光部102とが露光装置で解像しない幅 p のブロック内に配列されている。複数のブロックが、ブロック内の透光部101と遮光部102との配列方向に、連続的に配列されている。そして、前記配列方向では、ブロック内の透光部101と遮光部102とのデューティ比が単調に変化している。なお、複数のブロックが断続的に配列されていても良い。

30

【0018】

この露光量モニタパターンに照明光を照射すると、基板面上での露光量モニタパターンの回折光の光強度分布は、フォーカス位置に依存しない単調減少又は単調増加である。

【0019】

基板上にレジスト膜を形成しておくことで、フォーカスの状態に依存しない照射量の傾斜分布に対応した潜像がレジスト膜に形成される。レジスト膜に形成された潜像、又はレジスト膜を現像して得られるパターンの一方向の長さを測定することによって、露光量が測定される。

40

【0020】

測定された露光量から露光装置の露光量設定値を校正した後、半導体基板上に形成されたレジスト膜に半導体デバイスパターンを転写する。上記露光量モニタパターンで露光量を制御することにより、露光量裕度が少なくても、好適にパターンを転写することができる。

【0021】

露光量モニタパターンの感度は、デューティ比を変化させるインクリメント inc の細かさによって、決定される。図2には、図1に示した露光量モニタパターン100を投影露光する際に得られる投影露光装置の瞳面上の回折像分布を示す。露光量モニタパターンにおける回折像のうち、開口数 NA の瞳面200内に0次回折光像201のみが入るように

50

することで、フォーカスの影響を受けずに実効露光量をモニタできる。なお、図2において、符号202は+1次回折光像、符号203は-1次回折光像、符号OAは光軸である。

【0022】

対象とする露光装置は、基板側開口数 $NA = 0.68$ 、コヒーレントファクター $= 0.85$ 、輪帯遮蔽率 $= 0.5$ のArFエキシマレーザー露光装置(波長 $= 0.193 \mu\text{m}$)である。

【0023】

しかしながら、上記(1)式から、上記露光条件では、前述したブロック幅 p を $0.15 \mu\text{m}$ にする必要がある。これは同世代のクリティカルなデバイスパターンのルールよりもさらに厳しい。よって、露光量モニタパターンを精度よく形成することは極めて困難である。

10

【0024】

そこで、本発明者は、瞳面内における露光量モニタパターンの0次回折像の位置を、瞳面の中心位置(光軸)からずらすことにより、瞳面内の実効開口数 NA が小さい位置を使用することに着目した。

【0025】

瞳面内において、露光量モニタパターンからの0次回折像を瞳面の中心からずらす構成を以下に説明する。図3は、本発明の第1の実施形態に係わる露光量モニタが形成されたマスクの概略構成を示す図である。

20

【0026】

図3に示すように、透明基板301上の露光量モニタパターン302の上部にプリズム303が設置されている。プリズム303は、照明光束を傾ける作用を有する光学素子である。

【0027】

光源304からの照明光がプリズム303及び透明基板301を介して、露光量モニタパターン302に入射する。露光量モニタパターン302からみえる光源の位置は、プリズム303の光学的作用により、実際の光源304の位置からシフトして見える。その結果、露光量モニタパターン302からみえる光源は、光源305となる。

【0028】

図4に、図3に示すマスクに照明光を照射した際に、投影露光装置の瞳面上での露光量モニタパターンの回折光像分布の平面図を示す。

30

【0029】

図4に示すように、瞳面200上では、0次回折光像211、+1次回折光像212、及び-1次回折光像213が形成される。0次回折光像211の重心は、瞳面200の中心OAからずれた位置に形成されている。0次回折光像211の重心が瞳面の中心OAからずれた位置に形成されるのは、プリズム303により照明光束が露光量モニタパターン302に斜入射するためである。

【0030】

そして、0次回折光像211だけが瞳面200内を通過する。 ± 1 次回折光像212、213は瞳面内を通過しない。なお、回折光像211、212、213は、ブロックの幅 p を $0.3 \mu\text{m}$ に緩和した露光量モニタパターンを照明することにより得られる回折像を示している。

40

【0031】

また、図4には、プリズムを介さずに露光量モニタパターンに光照射して得られる0次回折光像201、+1次回折光像202、-1次回折光像203を参考のために示す。これらの回折光像201、202、203は、ブロックの幅 p が $0.15 \mu\text{m}$ の露光量モニタパターンを照明することにより得られるものである。

【0032】

図4に示すように、プリズムを用いて露光量モニタパターンに光を斜入射することにより

50

、実効的に瞳面 200 の開口数 NA が小さい領域に、0 次回折光像 211 が形成される。よって、0 次回折光像 211 と ±1 次回折光像 212, 213 との回折角を小さく設定でき、露光量モニタパターンにおけるブロックの幅を緩めることが可能となる。

【0033】

図 4 に示すように、瞳面 200 内において、0 次回折光像 211 を だけずらした場合の露光量モニタパターンに必要なとされるブロックの幅 p は、

【数 6】

$$\frac{1}{p} \geq \sqrt{(1 + \sigma)^2 - (\Delta\sigma)^2} \frac{NA}{\lambda}$$

$$p \leq \frac{\lambda}{NA\sqrt{(1 + \sigma)^2 - (\Delta\sigma)^2}} \quad \dots(3)$$

10

とすればよいことがわかる。なお、ずらし量 は、コヒーレントファクターで換算した値である。

【0034】

図 5 には、上記露光条件における露光量モニタパターンの回折光像のずれと露光量モニタパターンに必要なとされるブロックの幅 p との関係を示す。図 5 に示すように、瞳面内において回折光像を 1.6 だけずらすようにプリズムを設計する事により、露光量モニタパターンのブロック幅 p を 0.15 μm から 0.3 μm に緩和できる。

20

【0035】

以下により具体的に、従来の場合と比較して本発明を説明する。

図 6 には、ブロック幅が 0.15 μm の露光量モニタパターンを投影露光した際に得られる基板上での光像強度分布を示す。図 7 には、ブロック幅 p が 0.3 μm の露光量モニタパターンにプリズムを介して照明した際に得られる基板上での光像強度分布を示す。図 7 に示すように、回折光像をずらすことにより、ブロック幅 p を大きく設定できるのでインクリメントを緩くしても、高感度の検出性能を維持できることが分かる。

【0036】

また、図 8 に、デューティー比のインクリメントと実露光量分解能の関係を示す。図 8 の実線に示すように、インクリメント inc. を細かくすることにより、分解能が小さくなることが分かる。図 8 における点線は、従来のブロック幅 p が 0.15 μm の露光量モニタパターンから得られた光増強度分布から求めた実露光量分解能のデューティー比のインクリメント inc 依存性を示している。

30

【0037】

尚、実露光量分解能は、露光量モニタパターンを計測する線幅測定装置の精度にも依存する。図 8 に示した分解能は線幅測定装置の保証精度として 50 nm の装置を使用した際の結果である。

【0038】

近年のデバイスパターンの微細化により、少ない露光量マージンを有効利用する必要がある。露光量モニタパターンに必要なとされる検出感度は 0.5% 以下である。回折光像の重心を光軸からずらさない場合、要求検出感度からインクリメント inc を 0.625 nm (ウエハ上寸法) という微小寸法でデューティー比を変化させる必要がある。瞳面内での回折光像の重心を光軸からずらすことにより、ブロック幅 p を 0.3 μm と大きく設定できることから、0.5% 以下の検出感度を得るために、インクリメントを 2.5 nm に設計すれば良くなる。このインクリメント値は従来の 4 倍である。

40

【0039】

結果的に図 7 に示した像強度分布、及び、図 8 の実線で示したように緩いインクリメントでの高分解能が実現できる。

【0040】

50

具体的に同一露光量検出感度を得るための露光量モニタパターンの構成を図9に示す。図9(a)は従来の露光量モニタパターンの構成を示す平面図である。図9(b)は本発明の第1の実施形態に係わる露光量モニタパターンの構成を示す平面図である。

【0041】

露光量モニタパターンは、解像しないパターンであるために、パターンの明暗比が同じであれば、同一の強度分布が得られる。その結果、図9に示すように、ブロックの幅pを2倍に設定できることによって、インクリメントは4倍に緩和できることになる。

【0042】

以上述べてきたとおり、露光量モニタパターンのブロックの幅の制限を大幅に緩和することができる。また、デューティー比についても、極端に細かく設定しなくとも必要な実効露光量の検出感度を確保できる。二つの設計項目の緩和により、精度よい露光量モニタパターンを作成することができるようになる。よって、マスク作成の歩留まり、検査工程への負担を大幅に軽減することが可能となる。

10

【0043】

尚、今回は、瞳面の中心と回折光像の重心とをずらす手段として、プリズムを用いた。しかし、その手段は特に限定されるものではない。例えば、図10に示すように、露光量モニタパターン302に合わせて透明基板301に位相シフトグレーティング313を設ける。そして、実際の光源は光源314であるが、露光量モニタパターン302からみた光源を実質的な光源315にする。或いは、図11に示すように、透明基板301上に位相シフトグレーティング323bの光学素子を有する透明基板323aを配置する。そして、実際の光源は光源324であるが、露光量モニタパターン302からみた光源を実質的な光源325にする。また、透明基板下方にプリズムや位相シフトグレーティングを配置しても良い。また、プロセスユニット毎の調整やQCのために、テストマスクを用いる場合には、図12に示すように、光源335を光軸から直接ずらしたて照明を行っても同様な効果が得られる。

20

【0044】

なお、上記実施形態では照明として輪帯照明を用いていた。しかし、略円形の面光源から照射された照明光の中心が光軸に略一致する通常照明に対しても同様に効果がある。また、複数の偏心光源を有する多重極照明等に対して本実施形態の技術を適用しても、効果がある。多重極照明等の場合、複数形成される0次回折光像の重心を光軸からずらせばよい。

30

【0045】

(第2の実施形態)

さらに、本発明者は光軸に対して非対称な位置から照明し、結像した場合にフォーカス状態によりパターンの結像位置がシフトすることを利用して、実効露光量のモニタと同時にフォーカスについてもモニタすることを考えた。図13にフォーカスをモニタするための方法を具体的に示した。

【0046】

透明基板401の表面上にプリズム402が形成されている。透明基板401の裏面上に、露光量モニタパターン403、第1のフォーカスモニタパターン404、第2のフォーカスモニタパターン405、第1の位置ズレ検査パターン406、第2の位置ズレ検査パターン407が形成されている。露光量モニタパターン403及び第1のフォーカスモニタパターン404は、プリズム402の下方に形成されている。

40

【0047】

このレチクルを用いて基板410上の第1のショット領域S1に露光を行う。プリズム402により、露光量モニタパターン403及び第1のフォーカスモニタパターン404には照明光束が偏心して斜入射される。また、第2のフォーカスモニタパターン405、第1及び第2の位置ズレ検査パターン406、407には、照明光は偏心されない。なお、基板410表面にはレジスト膜が形成されている。

【0048】

50

第1のフォーカスマニタパターン404に照明光束が偏心して斜入射されるので、基板410上に形成される第1のフォーカスマニタパターンの潜像414の位置は、フォーカス位置に応じて変化する。

【0049】

第1のショット領域S1に対する露光後、第2のショット領域S2に露光を行う。第2のショット領域S2は、第1のショット領域S1に一部重なるように設定する。第1のショット領域S1に形成された第1のフォーカスマニタパターンの潜像414と第2のショット領域S2に形成される第2のフォーカスマニタパターンの潜像415とが重なるように形成する。また、第1のショット領域S1に形成された第1の位置ズレ検査パターンの潜像416と第2のショット領域S2に形成される第2の位置ズレ検査パターンの潜像417とが重なるように形成する。

10

【0050】

第1のフォーカスマニタパターンの潜像414の形成位置はフォーカス位置に応じて変化する。また、第2のフォーカスマニタパターンの潜像415の形成位置は、フォーカス位置に応じて変化しない。従って、現像後に潜像414、415により形成されるパターン間のズレ量を合わせずれ検査装置で計測することによって、フォーカス位置を検出することができる。この時、第1及び第2の位置ズレ検査パターン406、407の潜像416、417から形成されるレジストパターン間のズレ量を計測することにより、ステージの合わせずれ分を補正する。

【0051】

20

尚、フォーカスマニタパターンについては、上述した例だけに限定されるものではない。瞳面上における回折像の重心が光軸からずれていれば、デフォーカスに対するパターンのシフトを利用して同様に種々変形して適用可能である。

【0052】

(第3の実施形態)

本実施形態では、図14に示す2重極照明の場合について効果がある手法について詳細に説明する。2重極照明は、図14に示すように、二つの偏芯光源501が光軸OAに対して点对称に配置されている。本実施形態における具体的な照明条件は、光軸OAから偏芯光源501中心までの距離 r_1 が0.65、偏芯光源501の大きさ r_2 が0.2である。露光装置は、第1の実施形態と同様、開口数NAが0.68、コヒーレントファクター σ が0.85のArFエキシマレーザー露光装置(波長 λ :0.193 μm)である。

30

【0053】

本発明者は、メインパターンの露光が好適となるように設定された2重極照明の形状に応じて、露光量モニタパターンの配置方向を工夫することにより、モニタパターンの周期を緩く設定できることを見出した。

【0054】

図15は、本発明の第3の実施形態に係わる2重極照明及び露光量モニタパターンの配置関係を示す図である。

【0055】

具体的には、図15に示すように、2重極照明の偏芯光源501の中心を結ぶ線A-A'に対して、直行する方向(B-B')に合わせて、露光量モニタパターン503の微細ピッチのインクリメントを変化させて並べて配置することが最も効果的であることを見出した。なお、図15において、符号502はレチクルである。

40

【0056】

上記配置関係を用いた場合の露光量モニタパターンを照明した際に得られる投影光学系の瞳面上の回折像分布を図16に示す。図16に示すように、露光量モニタパターン503の回折像の内、0次回折像511のみが瞳面510を通過する条件を満足し、なおかつ、露光量モニタパターンからの回折角が一番狭い状態が、露光量モニタパターンのブロック幅pが一番緩くなる条件である。なお、図16において、符号512は+1次回折光像、符号513は-1次回折光像である。

50

【 0 0 5 7 】

図 1 6 に示すように、2 重極照明及び露光量モニタパターンを配置した場合、露光量モニタパターンのブロック幅 p が、

【 数 7 】

$$p \leq \frac{\lambda}{NA\sqrt{(1 + \sigma_r)^2 - \sigma_l^2}} \quad \dots (4)$$

を満足するように設定すればよい。

【 0 0 5 8 】

具体的には、上記露光条件の場合、露光量モニタパターンのブロック幅 p を、 $0.28 \mu\text{m}$ に設定すればよい。図 1 5 に示した配置関係を考慮しない場合の例を図 1 7 に示す。なお、図 1 7 において図 1 5 と同一な部位には同一符号を付し、その詳細な説明を省略する。図 1 7 に示すように、二つの偏芯光源 5 0 1 の中心を結ぶ線 A - A' に対して、露光量モニタパターン 5 0 3 の微細ピッチのインクリメントを変化させて並べて配置されている。

【 0 0 5 9 】

また、図 1 8 に図 1 7 に示す配置関係で露光を行った場合の瞳面内における回折光像の位置を示す。なお、図 1 8 において図 1 6 と同一な部位には同一符号を付し、その詳細な説明を省略する。図 1 8 において、符号 5 2 1 は 0 次回折光像、符号 5 2 2 は + 1 次回折光像、符号 5 2 3 は - 1 次回折光像である。

【 0 0 6 0 】

図 1 7 に示すように 2 重極照明と露光量モニタパターンとを配置した場合、上記 (1) , (2) 式より、露光量モニタパターンのブロック幅 p は $0.15 \mu\text{m}$ である。

【 0 0 6 1 】

これに対して、図 1 5 に示した配置関係にすると、露光量モニタパターンのブロック幅 p は $0.28 \mu\text{m}$ になる。従って、図 1 5 に示す配置関係にすることによって、大幅に周期を緩和することができる。その結果、第 1 の実施形態でも示したとおり、露光量モニタパターンのデューティー比のインクリメントについても、 0.625 nm から 2 nm に緩和できる。

【 0 0 6 2 】

以上述べてきたとおり、露光量モニタパターンの周期の制限を大幅に緩和することができる。また、デューティー比についても、極端に細かく設定しなくとも高感度の実効露光量の検出感を確保できる。その結果、常に精度よい露光量モニタパターンを作成することができるようになり、マスク作成の歩留まり、検査工程への負担を大幅に軽減することが可能となった。その結果、高精度の露光量制御が実現できた。

【 0 0 6 3 】

尚、上記実施形態では、2 重極照明における偏芯光源形状として円形を用いた。この場合に限らず、種々の形状の偏芯光源形状に対しても、同様に適用可能である。ただし、円形ではない偏芯光源形状の場合、(4) 式について、形状変更に伴った修正が必要となる。

【 0 0 6 4 】

(第 4 の実施形態)

第 3 の実施形態においては実デバイスの照明方法は 2 重極照明の場合について効果があるものであった。これに対して、本実施形態では、図 1 9 に 4 重極照明の場合について効果がある手法について詳細に説明する。4 重極照明は、図 1 9 に示すように、4 つの偏芯光源 6 0 1 が光軸 O A に対して 4 回対称となるようには位置されている。

【 0 0 6 5 】

4 重極照明の照明条件は、光軸 O A から偏芯光源 6 0 1 中心までの距離 r_1 が 0.65 、円形の偏芯光源 6 0 1 の大きさ r_2 が 0.2 とし、円形の偏芯光源 6 0 1 が 90 度の等間隔で 4 回対称に分布している。露光装置は、第 1 の実施形態と同様、開口数 N A が 0

10

20

30

40

50

． 6 8、コヒーレントファクター が 0 . 8 5 の A r F エキシマレーザー露光装置（波長：0 . 1 9 3 μ m）である。

【 0 0 6 6 】

本発明者は、メインパターンの露光が好適となるように設定された 4 重極照明の形状に応じて、露光量モニタパターンの配置の方向を工夫することにより、モニタパターンのブロック幅 p を緩く設定できることを見出した。

【 0 0 6 7 】

図 2 0 , 2 1 は、本発明の第 4 の実施形態に係わる 4 重極照明及び露光量モニタパターンの配置関係を示す図である。

【 0 0 6 8 】

図 2 0 , 2 1 に示すように、2 次光源面内の光軸 O A を通り、偏芯光源 6 0 1 の中心を通らない、4 つの偏芯光源 6 0 1 が線対称となる 2 本の対称軸 A - A ' , B - B ' を考える。この時、線 A - A '、又は線 B - B ' 方向の一方に合わせて、露光量モニタパターン 6 0 3 a , b の微細ピッチのインクリメントを変化させて並べて配置することが最も効果的である。

【 0 0 6 9 】

図 2 0 , 2 1 に示した配置関係を用いた場合の瞳面上での回折光像の分布を図 2 2 , 2 3 に示す。図 2 2 は、図 2 0 に示した 4 重極照明と露光量モニタパターンとの配置関係で露光を行って得られる、瞳面上での回折光像の分布を示す平面図である。図 2 3 は、図 2 1 に示した 4 重極照明と露光量モニタパターンとの配置関係で露光を行って得られる、瞳面上での回折光像の分布を示す平面図である。

【 0 0 7 0 】

露光量モニタパターンの回折像の内、0 次回折像 6 1 1 a , b のみが瞳面 6 1 0 a , b を通過する条件を満足し、なおかつ、露光量モニタパターンからの回折角が一番狭い状態が、露光量モニタパターンの周期が一番緩くなる条件である。なお、図 2 2 , 2 3 において、符号 6 1 2 a , b は + 1 次回折光像、符号 6 1 3 a , b は - 1 次回折光像である。

【 0 0 7 1 】

図 2 0 , 2 1 の配置関係を用いた場合、露光量モニタパターンのブロック幅 p は、

【 数 8 】

$$p \leq \frac{\lambda}{NA} \left\{ \frac{-\sigma_1 \cos \theta + \sqrt{\sigma_1^2 \cos^2 \theta + (1 + \sigma_r)^2 - \sigma_1^2}}{(1 + \sigma_r)^2 - \sigma_1^2} \right\} \dots (5)$$

を満足するように設定すればよい。

【 0 0 7 2 】

具体的には、上記露光条件の場合、露光量モニタパターンのブロック幅 p は、 $\theta = 45^\circ$ として 0 . 1 8 μ m に設定すればよいことがわかった。

【 0 0 7 3 】

図 2 0 , 2 1 に対比させて、従来の光源形状と配置関係とを考慮しない場合を図 2 4 に示す。なお、図 2 4 において、符号 6 0 1 が偏芯光源、6 0 2 c がレチクル、6 0 3 c が露光量モニタパターンである。また、図 2 5 に図 2 4 に示した 4 重極照明と露光量モニタパターンとの配置関係で露光を行って得られる、瞳面上での回折光像の分布を示す平面図を示す。

【 0 0 7 4 】

図 2 4 に示す配置の場合、上記 (1) , (2) 式より、露光量モニタパターンのブロック幅 p が 0 . 1 5 μ m である。これに対して、図 2 0 , 2 1 に示す配置であると、露光量モニタパターンのブロック幅 p は 0 . 1 8 μ m である。よってブロック幅を緩和することができる。その結果、上記第 1 の実施形態でも示したとおり、露光量モニタパターンのデュ

10

20

30

40

50

ーティー比のインクリメントについても、 0.625 nm から 0.9 nm に緩和することができる。その結果、高精度の露光量制御が実現できた。

【0075】

以上述べてきたとおり、露光量モニタパターンの周期の制限を大幅に緩和することができ、デューティー比についても、極端に細かく設定しなくとも高感度な実効露光量の検出精度を確保できることから、常に精度よい露光量モニタパターンを作成することができるようになり、マスク作成の歩留まり、検査工程への負担を大幅に軽減することが可能となった。

【0076】

尚、上記実施形態では、4重極照明における偏芯光源形状として円形を用いたが、この場合に限らず、種類の形状に対しても、上記(5)式については、形状変更に伴った修正が必要な場合があるが、同様に適用可能である。

10

【0077】

(第5実施形態)

本実施形態では、4回対称な4重極照明ではなく、図26に示すように、2回対称の4重極照明について効果がある手法について説明する。

【0078】

図26に示すように、4つの円形の偏芯光源701が光軸に対して2回対称で配置されている。2回対称なので、線A-A'と線B-B'との2本の対称軸が存在する。この時、偏芯光源701中心からの距離が離れている方の対称軸に略平行な方向に、露光量モニタパターン703の微細ピッチのインクリメントを変化させて並べて配置することが最も効果的である。

20

【0079】

図26に示す4重極照明の場合、軸A-A'と光源701中心との距離より、軸B-B'と光源701中心との距離が離れている。従って、図27に示すように、軸B-B'に沿った方向に、レチクル702に形成される露光量モニタパターン703の微細ピッチのインクリメントを変化させて並べて配置する。

【0080】

図26, 27に示した配置関係で露光を行って得られる、瞳面上での回折光像の分布を示す平面図を図28に示す。図28に示すように、露光量モニタパターンの回折像の内、0次回折像711a, bのみが瞳面710を通過する条件を満足し、なおかつ、露光量モニタパターンからの回折角が一番狭状態が、露光量モニタパターンのブロック幅pが一番緩くなる条件である。なお、図28において、符号712は+1次回折光像、符号713は-1次回折光像である。

30

【0081】

上述した条件を以下のように言い換えることができる。一方の対称軸と光源中心との見込み角度をとした場合を考える。図26では、軸A-A'と光源701中心との見込み角度を測定している。

【0082】

$0^\circ < \theta < 45^\circ$ の場合、図29(a)に示すように、見込み角度の基準に用いた軸と直交する軸B-B'に沿って露光量モニタパターン703aのブロックを配置する。また、 $45^\circ < \theta < 90^\circ$ の場合、図29(b)に示すように、見込み角度の測定に用いた軸A-A'に沿って露光量モニタパターン703bのブロックを配置する。

40

【0083】

また、図30に(5)式より得られた見込み角度と露光量モニタパターンのブロック幅pとの関係を示す。 $0^\circ < \theta < 45^\circ$ の場合は、図26(a)に示すパターンレイアウトを採用する。反対に $45^\circ < \theta < 90^\circ$ の場合には、図26(b)に示すパターンレイアウトを用いる。このようにすれば、露光量モニタパターンの周期を大幅に緩和することが可能となる。

【0084】

50

以上述べてきたとおり、露光量モニタパターンの周期の制限を大幅に緩和することができ、デューティー比についても、極端に細かく設定しなくとも高感度な実効露光量の検出感度を確保できることから、常に精度よい露光量モニタパターンを作成することができるようになり、マスク作成の歩留まり、検査工程への負担を大幅に軽減することが可能となった。

【0085】

尚、上記実施形態では、4重極照明における偏芯光源形状として円形を用いたが、この場合に限らず、種類の形状に対しても適用可能である。ただし、上記(5)式については、形状変更に伴った修正が必要な場合がある。

【0086】

なお、本発明は、上記実施形態に限定されるものではなく、そ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可能である。

【0087】

【発明の効果】

以上説明したように本発明によれば、露光量モニタパターンの設計条件の緩和を図り、必要とされる露光量の感度を容易に得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施形態に係わる露光量モニタパターンの構成を示す平面図。

【図2】図1に示した露光量モニタパターンを投影露光する際に得られる投影露光装置の瞳面上の回折像分布を示す平面図。

【図3】第1の実施形態に係わる露光量モニタが形成されたマスクの概略構成を示す図。

【図4】図3に示すマスクに照明光を照射した際に、投影露光装置の瞳面上での露光量モニタパターンの回折光像分布を示す平面図。

【図5】露光量モニタパターンの回折光像のずれと露光量モニタパターンに必要なとされるブロックの幅 p との関係を示す図。

【図6】ブロック幅が $0.15\mu\text{m}$ の露光量モニタパターンを投影露光した際に得られる基板上での光像強度分布を示す図。

【図7】ブロック幅 p が $0.3\mu\text{m}$ の露光量モニタパターンにプリズムを介して照明した際に得られる基板上での光像強度分布を示す図。

【図8】デューティー比のインクリメントと実露光量分解能の関係を示す図。

【図9】従来の露光量モニタパターンと、本実施形態の露光量モニタパターンとの概略構成を示す図。

【図10】第1の実施形態に係わる露光量モニタ方法の説明に用いる図。

【図11】第1の実施形態に係わる露光量モニタ方法の説明に用いる図。

【図12】第1の実施形態に係わる露光量モニタ方法の説明に用いる図。

【図13】第2の実施形態に係わる露光量及びフォーカスモニタ方法の説明に用いる図。

【図14】第3の実施形態に係わる2重極照明の概略構成を示す平面図。

【図15】第3の実施形態に係わる2重極照明及び露光量モニタパターンの配置関係を示す図。

【図16】図15に示す配置関係の状態、露光量モニタパターンを照明した際に得られる、投影光学系の瞳面上の回折光像分布を示す図。

【図17】従来の2重極照明及び露光量モニタパターンの配置関係を示す図。

【図18】図17に示す配置関係の状態、露光量モニタパターンを照明した際に得られる、投影光学系の瞳面上の回折光像分布を示す図。

【図19】第4の実施形態に係わる4重極照明の概略構成を示す図。

【図20】第4の実施形態に係わる4重極照明及び露光量モニタパターンの配置関係を示す図。

【図21】第4の実施形態に係わる4重極照明及び露光量モニタパターンの配置関係を示す図。

【図22】図20に示した4重極照明と露光量モニタパターンとの配置関係で露光を行っ

10

20

30

40

50

て得られる、瞳面上での回折光像分布を示す平面図。

【図23】図21に示した4重極照明と露光量モニタパターンとの配置関係で露光を行って得られる、瞳面上での回折光像の分布を示す平面図。

【図24】従来の、4重極照明及び露光量モニタパターンの配置関係を示す図。

【図25】図24に示した4重極照明と露光量モニタパターンとの配置関係で露光を行って得られる、瞳面上での回折光像の分布を示す平面図。

【図26】第5の実施形態に係わる4重極照明の概略構成を示す平面図。

【図27】第5の実施形態に係わる、図26に示す4重極照明の光源形状に対する露光量モニタパターンの配置関係を示す図。

【図28】図26, 27に示した配置関係で露光を行って得られる、瞳面上での回折光像の分布を示す平面図。 10

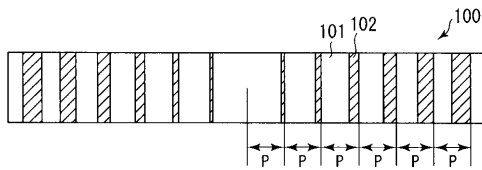
【図29】4重極照明の光源形状に対する露光量モニタパターンの配置関係を示す図。

【図30】見込み角度と露光量モニタパターンのブロック幅pとの関係を示す図。

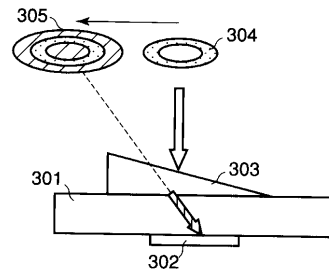
【符号の説明】

- 100 ... 露光量モニタパターン
- 101 ... 透光部
- 102 ... 遮光部
- 200 ... 瞳面
- 201 ... 0次回折光像
- 201 ... +1次回折光像
- 202 ... -1次回折光像

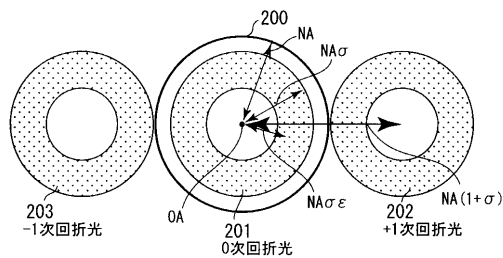
【図1】



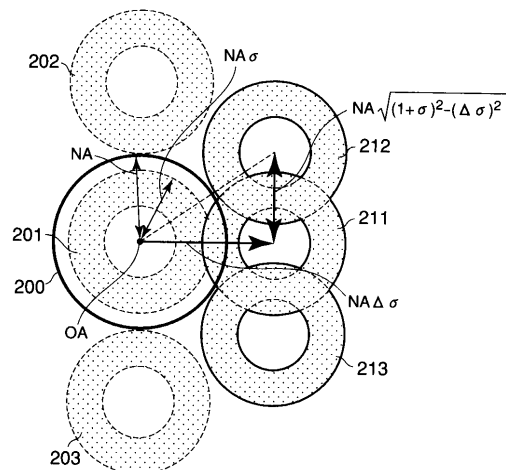
【図3】



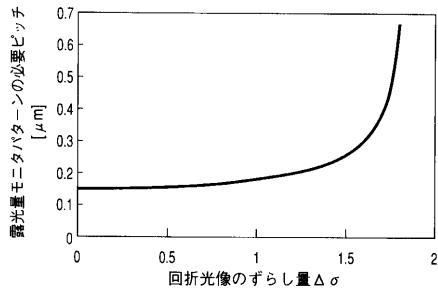
【図2】



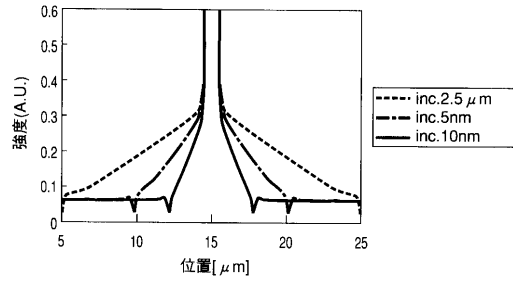
【図4】



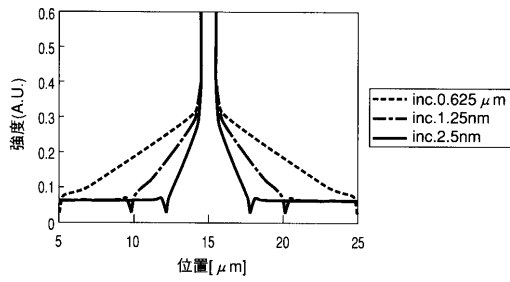
【 図 5 】



【 図 7 】

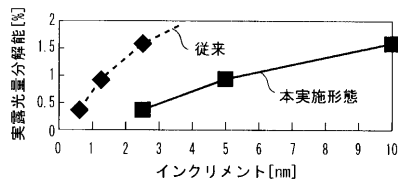


【 図 6 】

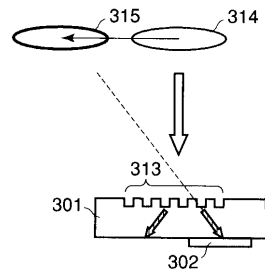


【 図 8 】

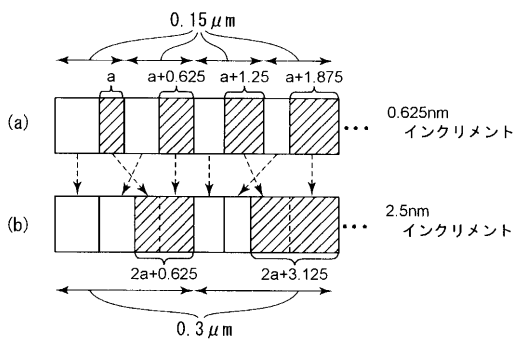
デューティ比のインクリメントと実露光量分解能の関係



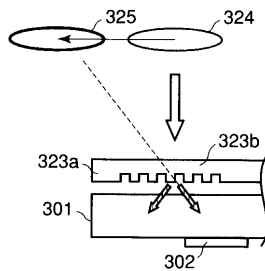
【 図 1 0 】



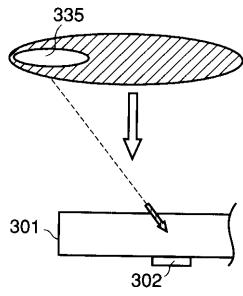
【 図 9 】



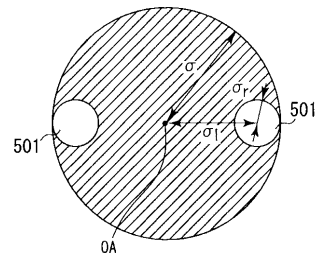
【 図 1 1 】



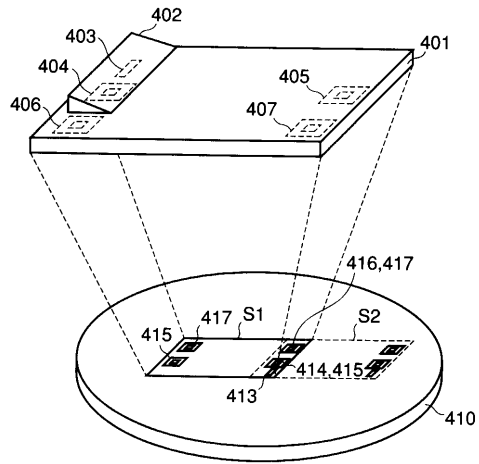
【図12】



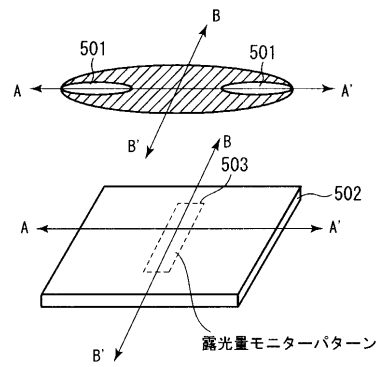
【図14】



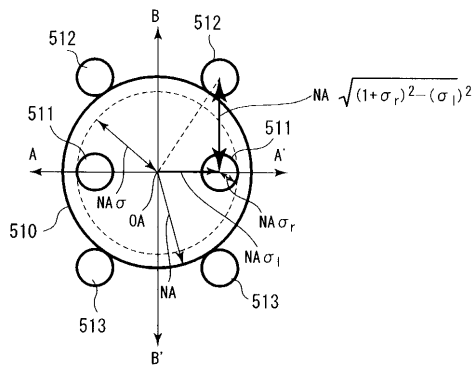
【図13】



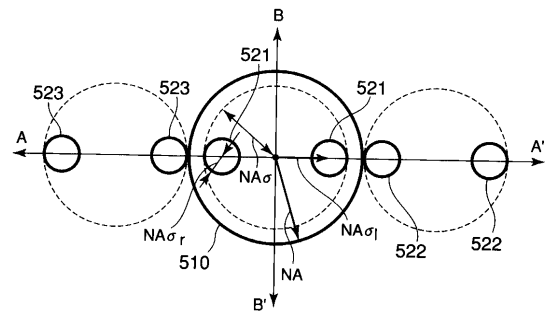
【図15】



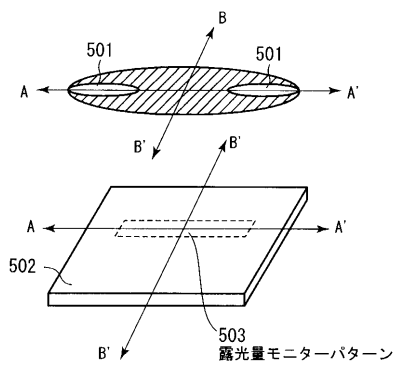
【図16】



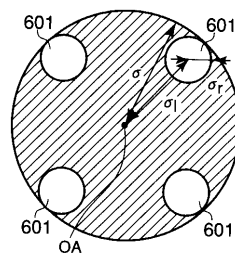
【図18】



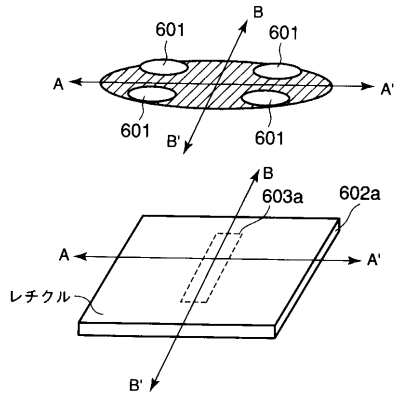
【図17】



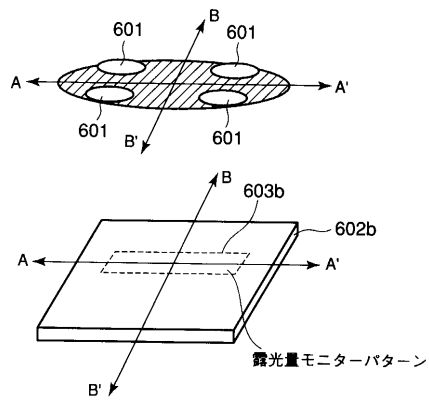
【図19】



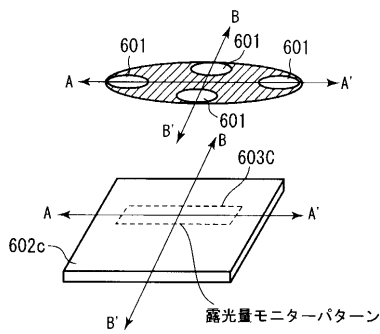
【図20】



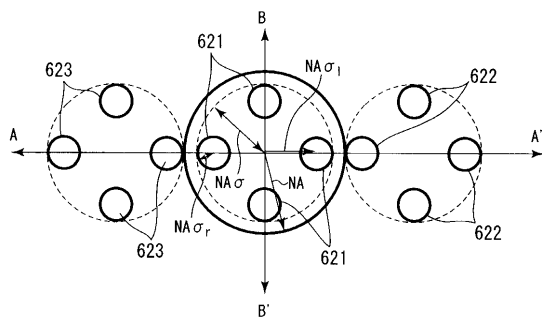
【図21】



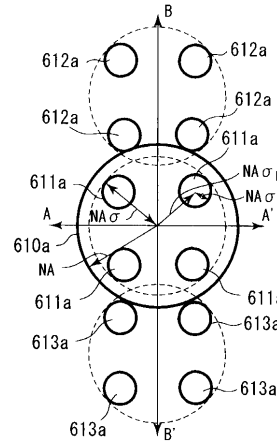
【図24】



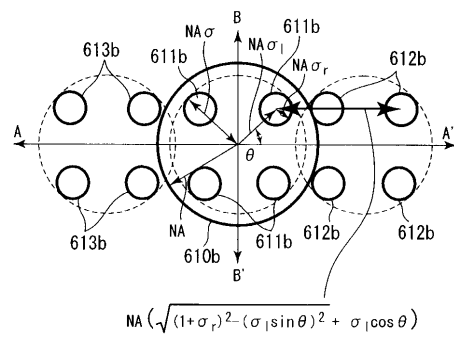
【図25】



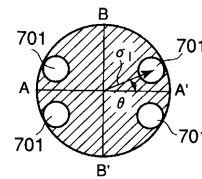
【図22】



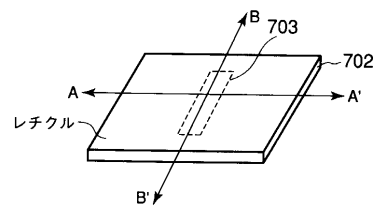
【図23】



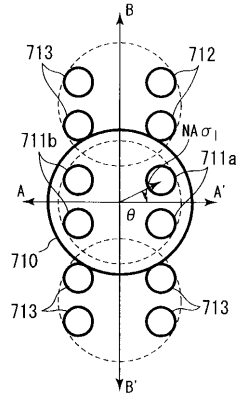
【図26】



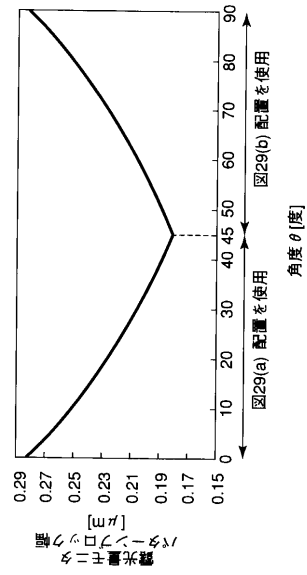
【図27】



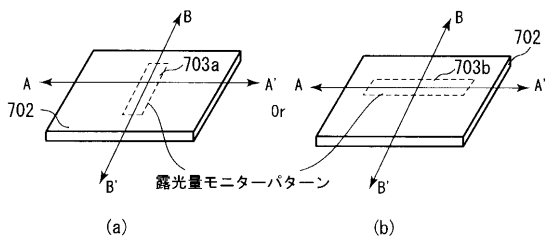
【 図 2 8 】



【 図 3 0 】



【 図 2 9 】



フロントページの続き

- (72)発明者 藤澤 忠仁
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 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 佐藤 隆
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 浅野 昌史
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 南 宏輔

- (56)参考文献 特開2000-310850(JP,A)
国際公開第99/065066(WO,A1)
特開平10-209039(JP,A)

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