

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4709639号
(P4709639)

(45) 発行日 平成23年6月22日 (2011. 6. 22)

(24) 登録日 平成23年3月25日 (2011. 3. 25)

(51) Int. Cl.

F I

G O 3 F 1/08 (2006. 01)

G O 3 F 1/08 S

G O 3 F 7/20 (2006. 01)

G O 3 F 7/20 5 2 1

H O 1 L 21/027 (2006. 01)

H O 1 L 21/30 5 O 2 P

請求項の数 5 (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2005-357935 (P2005-357935)
 (22) 出願日 平成17年12月12日 (2005. 12. 12)
 (65) 公開番号 特開2007-163686 (P2007-163686A)
 (43) 公開日 平成19年6月28日 (2007. 6. 28)
 審査請求日 平成20年7月28日 (2008. 7. 28)

(73) 特許権者 000003078
 株式会社東芝
 東京都港区芝浦一丁目1番1号
 (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 100108855
 弁理士 蔵田 昌俊
 (74) 代理人 100075672
 弁理士 峰 隆司
 (74) 代理人 100109830
 弁理士 福原 淑弘
 (74) 代理人 100084618
 弁理士 村松 貞男

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マスクパターン評価方法及び評価装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

フォトマスクのパターン画像を走査型電子顕微鏡により取得し、
 前記パターン画像からパターンの側壁角に関する側壁角データを生成し、
 前記パターン画像からパターン輪郭を抽出して輪郭データを生成し、
 前記輪郭データと前記側壁角データを基にリソグラフィシミュレーションを行い、露光余裕度を算出することを特徴とするマスクパターン評価方法。

【請求項 2】

フォトマスクのパターン画像を走査型電子顕微鏡により取得し、
 前記パターン画像からパターンの側壁角に関する側壁角データを生成し、
 前記パターン画像からパターン輪郭を抽出して輪郭データを生成し、
 前記側壁角データを基に前記輪郭データのパターン輪郭位置を補正し、
 補正された前記輪郭データを基にリソグラフィシミュレーションを行い、露光余裕度を算出することを特徴とするマスクパターン評価方法。

【請求項 3】

前記側壁角データの生成は、前記走査型電子顕微鏡で得たパターン画像のパターン輪郭を構成する白線の強度プロファイルを基に行うことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のマスクパターン評価方法。

【請求項 4】

フォトマスクのパターン画像を走査型電子顕微鏡により取得するパターン画像取得手段

10

20

と、

前記パターン画像取得手段で取得したパターン画像からパターンの側壁角に関する側壁角データを生成するパターン側壁角解析手段と、

前記パターン画像取得手段で取得したパターン画像からパターン輪郭を抽出して輪郭データを生成するパターン輪郭抽出手段と、

前記パターン輪郭抽出手段で生成された輪郭データと前記パターン側壁角解析手段で生成された側壁角データを基にリソグラフィシミュレーションを行い、露光余裕度を算出するリソグラフィシミュレータと、

を具備したことを特徴とするマスクパターン評価装置。

【請求項 5】

フォトマスクのパターン画像を走査型電子顕微鏡により取得するパターン画像取得手段と、

前記パターン画像取得手段で取得したパターン画像からパターンの側壁角に関する側壁角データを生成するパターン側壁角解析手段と、

前記パターン画像取得手段で取得したパターン画像からパターン輪郭を抽出して輪郭データを生成するパターン輪郭抽出手段と、

前記パターン側壁角解析手段で生成された側壁角データを基に前記パターン輪郭抽出手段で生成された輪郭データのパターン輪郭位置を補正する輪郭データ補正手段と、

前記輪郭データ補正手段で補正された前記輪郭データを基にリソグラフィシミュレーションを行い、露光余裕度を算出するリソグラフィシミュレータと、

を具備したことを特徴とするマスクパターン評価装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、フォトマスクの製造に係るマスクパターンの評価方法及び評価装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、半導体製造プロセスに用いられるフォトリソグラフィ工程での課題が顕著になりつつある。半導体デバイスの微細化が進むにつれ、フォトリソグラフィ工程での微細化に対する要求が高まっている。既に、デバイスの設計ルールは 55nm にまで微細化し、制御しなければならないパターン寸法精度は、5nm 以下と極めて厳しい精度が要求されている。さらに、マスクパターンには光近接効果補正 (OPC) が行われているため、極めて複雑な形状になっている。

【0003】

そのため、従来のような単なるパターン線幅の測定や穴径の測定のような 1 次元の寸法均一性検査では不十分であり、2 次元の寸法管理が求められていた。その答えとして、マスクパターンの画像を SEM (Scanning Electron Microscope : 走査型電子顕微鏡) により取得し、その画像からパターン輪郭を抽出してリソシミュレーションを行い、所望のリソグラフィ余裕度が得られるか否かでマスクパターンが所望の寸法に仕上げられているか否かを検査する手法を採用していた。本手法の最大のメリットは、マスクパターンの仕上りを、実際にウェハに露光して使用する条件に極めて近い状態で判断できることであり、不必要に厳しい管理や逆に甘い管理になることが無く、必要十分な管理ができる点である。

【0004】

しかしながら本手法においても、昨今のさらに厳しいマスクの寸法管理においては、精度的に不十分な点が見えてきた。それは、ウェハ露光装置の NA (開口率) が大きくなり、マスクの側壁角の影響が無視できなくなったためである。具体的には、マスクパターンの側壁角が、マスクパターンの被覆率やマスク面内の位置により異なっている。そのため、従来のように側壁角を無視して一律に SEM 像からパターンの輪郭を抽出してしまうと、その輪郭データからリソグラフィシミュレーションした結果と実際のウェハ露光の結果

10

20

30

40

50

とが合わなくなるケースが生じるようになった。

【 0 0 0 5 】

なお、非特許文献 1 には、2 D パターンの忠実度におけるマスク品質の定量的評価と、O P C モデルの有効性を評価する方法が記載されている。

【非特許文献 1】W.C. Wang et al. "Mask pattern fidelity quantification method" SPIE Vol. 5256 (2003) p.p. 266-275

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 6 】

本発明の目的は、リソグラフィシミュレーションの結果と実際のウェハ露光の結果を一致させることができるマスクパターン評価方法及び評価装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 7 】

本発明の一形態のマスクパターン評価方法は、フォトマスクのパターン画像を走査型電子顕微鏡により取得し、前記パターン画像からパターンの側壁角に関する側壁角データを生成し、前記パターン画像からパターン輪郭を抽出して輪郭データを生成し、前記輪郭データと前記側壁角データを基にリソグラフィシミュレーションを行い、露光余裕度を算出する。

【 0 0 0 8 】

本発明の他の形態のマスクパターン評価方法は、フォトマスクのパターン画像を走査型電子顕微鏡により取得し、前記パターン画像からパターンの側壁角に関する側壁角データを生成し、前記パターン画像からパターン輪郭を抽出して輪郭データを生成し、前記側壁角データを基に前記輪郭データのパターン輪郭位置を補正し、補正された前記輪郭データを基にリソグラフィシミュレーションを行い、露光余裕度を算出する。

【 0 0 0 9 】

本発明の他の形態のマスクパターン評価装置は、フォトマスクのパターン画像を走査型電子顕微鏡により取得するパターン画像取得手段と、前記パターン画像取得手段で取得したパターン画像からパターンの側壁角に関する側壁角データを生成するパターン側壁角解析手段と、前記パターン画像取得手段で取得したパターン画像からパターン輪郭を抽出して輪郭データを生成するパターン輪郭抽出手段と、前記パターン輪郭抽出手段で生成された輪郭データと前記パターン側壁角解析手段で生成された側壁角データを基にリソグラフィシミュレーションを行い、露光余裕度を算出するリソグラフィシミュレータと、を備えている。

【 0 0 1 0 】

本発明の他の形態のマスクパターン評価装置は、フォトマスクのパターン画像を走査型電子顕微鏡により取得するパターン画像取得手段と、前記パターン画像取得手段で取得したパターン画像からパターンの側壁角に関する側壁角データを生成するパターン側壁角解析手段と、前記パターン画像取得手段で取得したパターン画像からパターン輪郭を抽出して輪郭データを生成するパターン輪郭抽出手段と、前記パターン側壁角解析手段で生成された側壁角データを基に前記パターン輪郭抽出手段で生成された輪郭データのパターン輪郭位置を補正する輪郭データ補正手段と、前記輪郭データ補正手段で補正された前記輪郭データを基にリソグラフィシミュレーションを行い、露光余裕度を算出するリソグラフィシミュレータと、を備えている。

【発明の効果】

【 0 0 1 1 】

本発明によれば、リソグラフィシミュレーションの結果と実際のウェハ露光の結果を一致させることができるマスクパターン評価方法及び評価装置を提供できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 1 2 】

以下、実施の形態を図面を参照して説明する。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 3 】

(第 1 の実施の形態)

まず、通常のフォトマスク製造プロセスにより製作したフォトマスクである A r F - ハーフトーン (H T) マスクを用意した。この A r F - H T マスク上に形成したパターンは 5 5 n m デザインルールメモリーデバイスであり、このマスクパターンに対してリソグラフィマージンが少ない箇所 (ホットスポットと呼ぶ) を予め抽出してある。ホットスポットの抽出は、設計データに光近接効果補正 (O P C) を行った後のデータから、チップ全面のリソグラフィシミュレーションによりリソグラフィマージンの少ない箇所を特定したものである。今回は 6 4 箇所のホットスポットを抽出した。

【 0 0 1 4 】

用意した A r F - H T マスクをトプコン社製高精細 S E M (N G R 4 0 0 0) にセットし、ホットスポットの S E M 像を取得した。N G R 4 0 0 0 は、8 0 0 0 × 8 0 0 0 画素という高精細画像を取得することが可能な装置であり、1 画素がマスク上で 2 n m という高分解能である。すなわち、取得した画像の視野は 1 6 μ m 角ということになり、リソグラフィシミュレーションを行うには十分な大きさである。

【 0 0 1 5 】

図 1 の (a) は A r F - H T マスクの S E M 像を示す図であり、図 1 の (b) は S E M 像から抽出したパターン輪郭データを示す図である。図 1 の (a) に示す取得した S E M 像から、N G R 社製輪郭抽出ソフトウェアにてパターンの輪郭を抽出し、図 1 の (b) に示すパターン輪郭データを取得した。次いで、図 1 の (a) の S E M 像のパターン輪郭を構成している白線の幅から、マスクパターンの側壁角を求めた。

【 0 0 1 6 】

図 2 は、マスクパターンの側壁角と S E M 像の信号強度との関係を示す図である。図 2 に示すように、マスクパターンの側壁角 が小さいときは S E M 像の白線の幅 (信号強度が突出する部分) w が大きくなり、側壁角 が大きいときは逆に白線の幅 w が短くなるという原理がある。この原理を利用して A r F - H T マスクのパターンの側壁角を求めた。実際には、単に白線の幅からだけではなく、S E M 像であるパターン画像中のパターン輪郭を構成する白線の強度プロファイルの微妙な差を基に、この強度プロファイルと予め求めておいた側壁角毎の強度プロファイルデータとのマッチングを行い、側壁角を求める。求めた側壁角に関して、各輪郭ごとに所定の間隔 (例えば 1 0 0 画素ごと) でパターン側壁角データとパターン輪郭データとを関連付けて保存した。

【 0 0 1 7 】

図 3 は、本第 1 の実施の形態に係るマスクパターン評価装置の構成を示すブロック図である。本第 1 の実施の形態のマスクパターン評価方法は、図 3 に示す一つのマスクパターン評価装置で実施できる。

【 0 0 1 8 】

図 3 に示すように、マスクパターン画像取得部 1 が、パターン側壁角解析部 2 を介してリソグラフィシミュレータ 4 に接続されているとともに、パターン輪郭抽出部 3 を介してリソグラフィシミュレータ 4 に接続されている。マスクパターン画像取得部 1 は、本装置にセットされた A r F - H T マスク m のパターン画像を取得する。パターン側壁角解析部 2 は、取得した該パターン画像から該パターンの側壁角に関する情報であるパターン側壁角データを生成する。パターン輪郭抽出部 3 は、取得した該パターン画像からパターン輪郭を抽出しパターン輪郭データを生成する。リソグラフィシミュレータ 4 は、パターン輪郭データとパターン側壁角データを基にリソグラフィシミュレーションを行う。

【 0 0 1 9 】

図 4 は、本第 1 の実施の形態のマスクパターン評価方法の手順を示すフローチャートである。まずステップ S 1 で、検査者が S E M にて、A r F - H T マスク m のマスクパターンにおいて S E M 像を取得する場所を選定する。ステップ S 2 で、マスクパターン画像取得部 1 は、該マスクパターンの S E M 像 (パターン画像) を取得する。ステップ S 3 で、パターン側壁角解析部 2 は、上述した原理により S E M 像であるパターン画像からパター

10

20

30

40

50

ン側壁角を算出し、ステップS 4で、パターン側壁角データを得る。ステップS 3の後、ステップS 5で、パターン輪郭抽出部3はSEM像であるパターン画像からパターン輪郭を抽出し、ステップS 6で、パターン輪郭データを得る。

【0020】

次に、ステップS 7で、上記のパターン側壁角データとパターン輪郭データを内製のリソグラフィシミュレータ4に入力し、製作したArF-H Tマスクmを使用してウェハに露光する際に用いられる光学条件にてリソグラフィシミュレーションを行った。

【0021】

その結果、ステップS 8で、ウェハ上で所望のパターン寸法が得られる露光量余裕度は8%、焦点深度は0.21 μm であることが算出された。所望のパターン寸法を得るのに必要な露光量余裕度は10%以上で焦点深度は0.2 μm 以上であるので、今回のこのArF-H Tマスクmのこのホットスポットの場所は露光量余裕度がスペック未達であるため、ArF-H Tマスクmは不合格品であると判定される。なお、上記の所望のパターン寸法を得るのに必要な露光量余裕度(露光量の範囲)と焦点深度、あるいはそれらのうち一方を露光余裕度と称する。あるいは、露光余裕度を最適な露光量と最適な焦点位置で得られるパターン寸法で定義してもよい。

【0022】

比較のために、側壁角は一定として、単純にパターン輪郭データだけで同じシミュレーションを実施した場合、得られる露光量余裕度は11%、焦点深度は0.23 μm となり、ArF-H Tマスクmは合格品であると判定される結果となった。

【0023】

そこで、実際にこのArF-H Tマスクmを用いてウェハ上にレジストパターンを形成した。露光装置はニコン社製液浸露光装置で、NAは0.92である。また偏光照明も採用している。その結果、所望の寸法を得ることができた露光量余裕度は8%であり、焦点深度は0.22 μm であった。このことから、液浸露光のような大きなNAでの露光ではマスクの側壁角の影響が大きくなることが分かる。よって本第1の実施の形態のように、マスクの側壁角の変動を考慮することにより、さらに忠実なリソグラフィシミュレーションが可能になり、マスクの合否判定の精度を向上させることができる。

【0024】

(第2の実施の形態)

第2の実施の形態として、パターン側壁角データを基にパターン輪郭データを補正する場合を説明する。ホットスポットのSEM像からパターン側壁角データとパターン輪郭データを取得するまでの手順は上述した第1の実施の形態と同じある。異なる点は、パターン側壁角データを基にパターン輪郭データの輪郭位置を補正することにある。

【0025】

図5は、本第2の実施の形態に係るマスクパターン評価装置の構成を示すブロック図である。本第2の実施の形態のマスクパターン評価方法は、図5に示す一つのマスクパターン評価装置で実施できる。図5において図3と同一な部分には同符号を付してある。

【0026】

図5に示すように、マスクパターン画像取得部1が、パターン側壁角解析部2を介して輪郭データ補正部5に接続されているとともに、パターン輪郭抽出部3を介して輪郭データ補正部5に接続されている。輪郭データ補正部5はリソグラフィシミュレータ4に接続されている。輪郭データ補正部5は、パターン側壁角解析部2で生成されたパターン側壁角データを基に、パターン輪郭抽出部3で生成されたパターン輪郭データのパターン輪郭位置を補正する。リソグラフィシミュレータ4は、輪郭データ補正部5で補正された補正済みのパターン輪郭データを基にリソグラフィシミュレーションを行う。

【0027】

図6は、本第2の実施の形態のマスクパターン評価方法の手順を示すフローチャートである。まずステップS 11で、検査者がSEMにて、ArF-H TマスクmのマスクパターンにおいてSEM像を取得する場所を選定する。ステップS 12で、マスクパターン画

10

20

30

40

50

像取得部 1 は、該マスクパターンの S E M 像（パターン画像）を取得する。ステップ S 1 3 で、パターン側壁角解析部 2 は、上述した原理により S E M 像であるパターン画像からパターン側壁角を算出してパターン側壁角データを得、ステップ S 1 4 で、パターン輪郭抽出部 3 は S E M 像であるパターン画像からパターン輪郭を抽出してパターン輪郭データを得、輪郭データ補正部 5 はパターン側壁角データを基にパターン輪郭データの輪郭位置を補正し、ステップ S 1 5 で、補正済みのパターン輪郭データを得る。

【 0 0 2 8 】

次に、ステップ S 1 6 で、上記の補正済みのパターン輪郭データを内製のリソグラフィシミュレータ 4 に入力し、製作した A r F - H T マスク m を使用してウェハに露光する際に用いられる光学条件にてリソグラフィシミュレーションを行い、ステップ S 1 7 で、露光余裕度を算出した。

【 0 0 2 9 】

上記のステップ S 1 4 の処理は、S E M 像から一律の条件にて抽出したパターン輪郭を光学的に意味のある輪郭位置に補正することを意味している。本第 2 の実施の形態の処理は、リソグラフィシミュレーションにパターン側壁角データが取り込みにくい場合に有効である。

【 0 0 3 0 】

図 7 は、マスクパターン断面における S E M 像の輪郭位置と光学的に意味のある輪郭位置を示す図である。従来使用している S E M 像の輪郭は、ハーフトーン膜厚 h の約 5 0 % の高さの輪郭を抽出している。一方、マスクを立体構造の無い平面のものとして捉えているリソグラフィシミュレーションにおける光学的に意味のある輪郭は、ハーフトーン膜の底から約 2 5 % のところである。すなわち図 7 に示すように、光学的に意味のある輪郭位置は、S E M 像から取得した輪郭位置よりも外側にシフトした輪郭になる。側壁角 θ が一定な場合は一律のシフト量を S E M 像からの輪郭位置に加えればよいのだが、側壁角が場所により異なる場合は側壁角に応じたシフト量を S E M 像からの輪郭位置に加える必要がある。例えば、側壁角 θ が小さいほどシフト量は大きくなる。

【 0 0 3 1 】

本第 2 の実施の形態では、この輪郭位置の補正をパターン側壁角データにより行う。すなわち、側壁角に応じて輪郭位置をシフトさせる。この補正済みのパターン輪郭データでリソシミュレーションを行うことにより、上述した第 1 の実施の形態と同程度のマスクの合否判定の精度の向上が確認された。

【 0 0 3 2 】

以上のように各実施の形態によれば、取得した S E M 像からマスクパターンの側壁角に関する情報を取得し、パターン側壁角データとパターン輪郭データを基にリソグラフィシミュレーションを行うか、あるいは、パターン側壁角データを基にパターン輪郭データの輪郭位置を補正し、この補正したパターン輪郭データを基にリソグラフィシミュレーションを行う。これにより算出された露光余裕度が所望の露光余裕度であるか否かを判断することで、マスクパターンが所望の寸法に仕上がっているか否かを検査することができる。

【 0 0 3 3 】

これにより、従来問題となっていたマスクパターンの側壁角の影響をリソグラフィシミュレーションに適切に取り込むことが可能となり、リソグラフィシミュレーションの結果と実際のウェハ露光の結果を一致させることを実現できる。

【 0 0 3 4 】

なお、本発明は上記各実施の形態のみに限定されず、要旨を変更しない範囲で適宜変形して実施できる。例えば、パターン側壁角に関する情報は S E M 像からではなく、別途光学的な手法による *scatterometry* 法により取得してもよい。また、電子ビームを斜めから照射する S E M から取得してもよい。また、この実施形態では、マスクパターン評価方法について述べたが、この評価方法によって所望の仕様を満たすと判定されたフォトリソマスクを用いて半導体基板上に回路パターンを形成することにより半導体装置を製造することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 3 5 】

【図 1】第 1 の実施の形態に係る A r F - H T マスクの S E M 像と S E M 像から抽出したパターン輪郭データを示す図。

【図 2】第 1 の実施の形態に係るマスクパターンの側壁角と S E M 像の信号強度との関係を示す図。

【図 3】第 1 の実施の形態に係るマスクパターン評価装置の構成を示すブロック図。

【図 4】第 1 の実施の形態に係るマスクパターン評価方法の手順を示すフローチャート。

【図 5】第 2 の実施の形態に係るマスクパターン評価装置の構成を示すブロック図。

【図 6】第 2 の実施の形態に係るマスクパターン評価方法の手順を示すフローチャート。

【図 7】第 2 の実施の形態に係るマスクパターン断面における S E M 像の輪郭位置と光学的に意味のある輪郭位置を示す図。

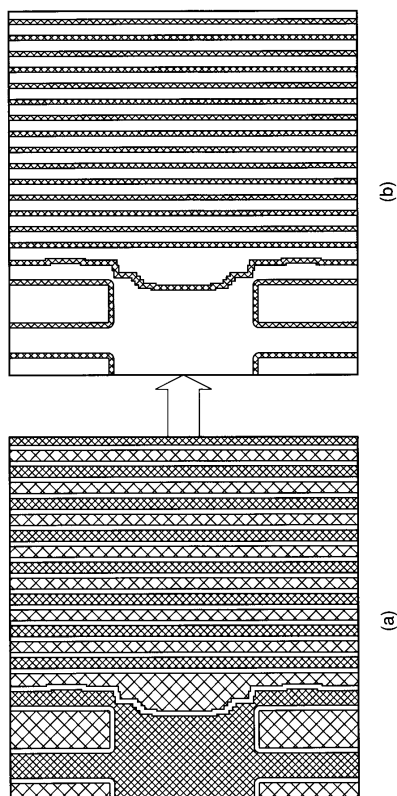
【符号の説明】

【 0 0 3 6 】

m ... A r F - H T マスク 1 ... マスクパターン画像取得部 2 ... パターン側壁角解析部
3 ... パターン輪郭抽出部 4 ... リソグラフィシミュレータ 5 ... 輪郭データ補正部

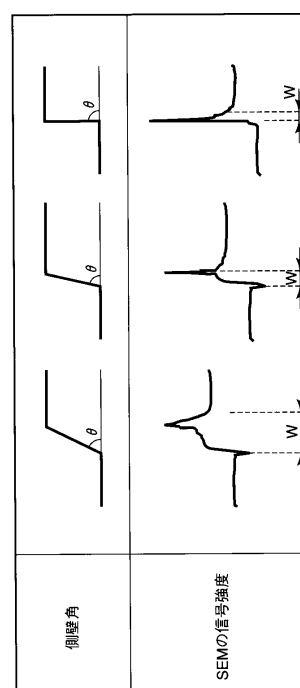
【図 1】

図 1

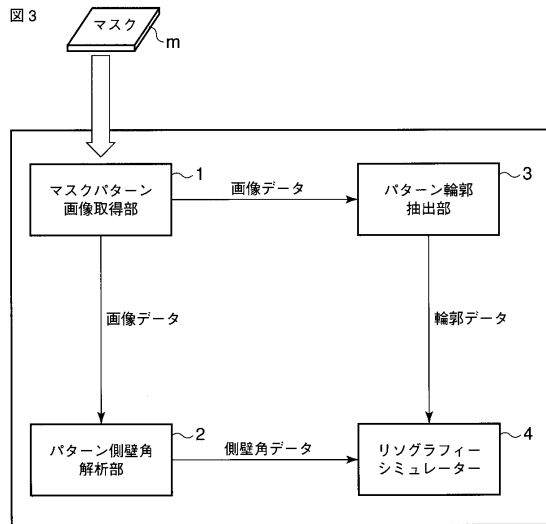


【図 2】

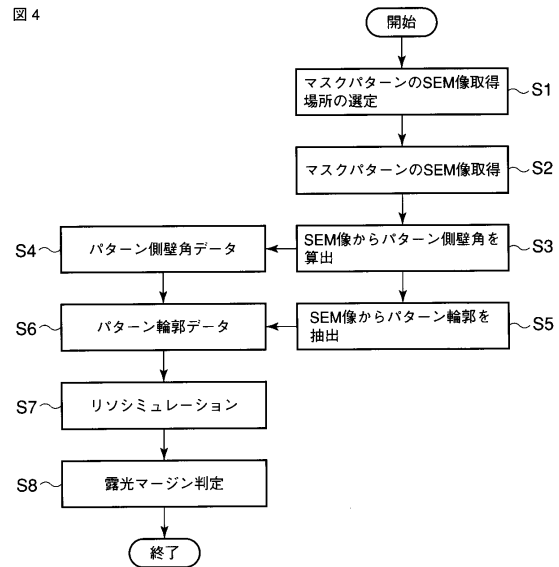
図 2



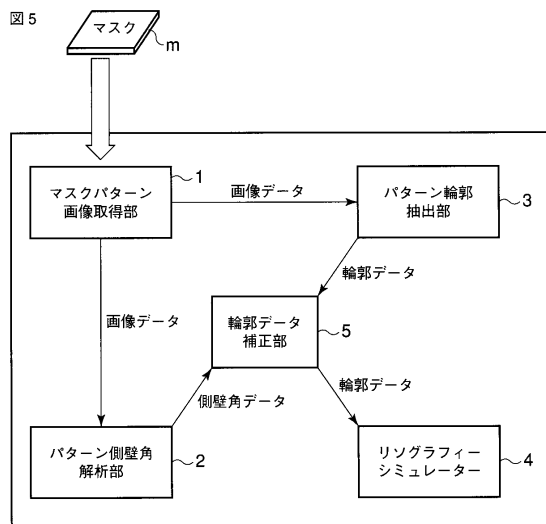
【図 3】



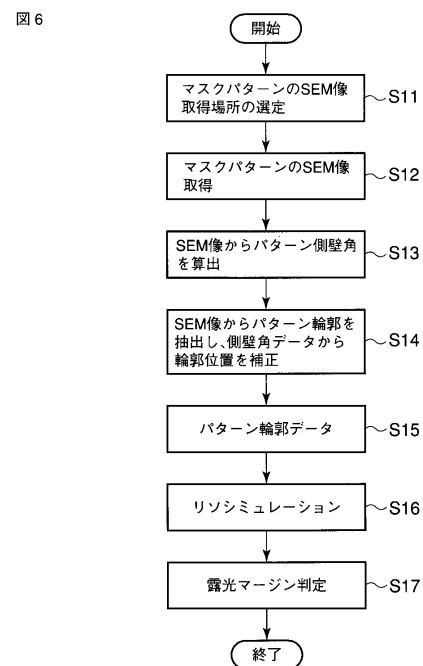
【図 4】



【図 5】

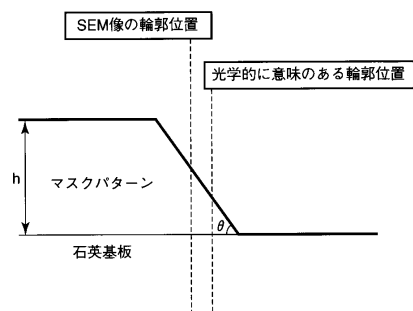


【図 6】



【図 7】

図 7



フロントページの続き

(74)代理人 100092196

弁理士 橋本 良郎

(72)発明者 伊藤 正光

神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株式会社東芝マイクロエレクトロニクスセンター内

審査官 秋田 将行

(56)参考文献 特開平 07 - 175204 (JP, A)

特開 2000 - 258352 (JP, A)

特開 2003 - 207879 (JP, A)

特開 2003 - 255509 (JP, A)

特開 2003 - 324041 (JP, A)

特表 2003 - 525529 (JP, A)

特開 2004 - 158478 (JP, A)

特開 2004 - 330310 (JP, A)

特開 2005 - 189491 (JP, A)

特開 2005 - 285898 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G03F 1/00 - 1/16

G03F 7/20 - 7/24

H01L 21/027