(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第5111213号
(P5111213)

(45)発行日　平成25年1月9日(2013.1.9)　(24)登録日　平成24年10月19日(2012.10.19)

(51)Int.Cl.		F I		
H01L 21/027	(2006.01)	H01L	21/30	516Z
G03F 7/20	(2006.01)	H01L	21/30	518
G01B 11/00	(2006.01)	G03F	7/20	521
G01B 11/26	(2006.01)	G01B	11/00	G
H01L 21/68	(2006.01)	G01B	11/26	G

請求項の数 8　(全 16 頁)　最終頁に続く

(21)出願番号　特願2008-105837 (P2008-105837)
(22)出願日　平成20年4月15日 (2008.4.15)
(65)公開番号　特開2009-259966 (P2009-259966A)
(43)公開日　平成21年11月5日 (2009.11.5)
審査請求日　平成23年4月15日 (2011.4.15)

(73)特許権者　000001007
キヤノン株式会社
東京都大田区下丸子３丁目３０番２号
(74)代理人　100126240
弁理士　阿部　琢磨
(74)代理人　100124442
弁理士　黒岩　創吾
(72)発明者　徳山　裕介
東京都大田区下丸子３丁目３０番２号キヤノン株式会社内

審査官　松岡　智也

最終頁に続く

(54)【発明の名称】計測方法、ステージ移動特性の調整方法、露光方法及びデバイス製造方法

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
原版と基板とを相対的に走査して、前記原版上のパターンを投影光学系を介して前記基板に投影する露光装置を用いて、前記基板上のショット配列の精度を計測する計測方法において、
前記原版に設けられた計測マークを前記基板の複数箇所に転写する第１工程と、
第１工程を実行した後、前記基板を保持する基板ステージの移動によって、前記投影光学系の光軸に平行な軸を回転軸として前記基板を９０°回転させる回転工程と、
前記回転工程を実行した後、前記計測マークが前記第１工程における転写領域と重なるように、前記基板の複数箇所に前記計測マークを転写する第２工程と、
前記第１工程における転写領域と前記第２工程における転写領域とが重なる領域内において、前記第１工程で転写された計測マークと前記第２工程で転写された計測マークと第１の重ね合わせマークの位置ずれを計測する第１計測工程と、
前記第１計測工程の計測結果に基づいて、前記基板上のショットの位置誤差、回転誤差、及び、ショット配列の直交度の少なくとも１つを算出する算出工程と、を有することを特徴とする計測方法。
【請求項２】
前記第１工程における転写領域同士もしくは前記第２工程における転写領域同士の重ね合わせ領域内において、前記第１工程もしくは前記第２工程で転写された計測マーク同士の第２の重ね合わせマークの位置ずれを計測する第２計測工程を有し、

前記第１計測工程による結果と、前記第２計測工程による結果にも基づいて、前記基板上のショットの位置誤差、回転誤差、及び、ショット配列の直交度の少なくとも１つを算出することを特徴とする請求項１記載の計測方法。

【請求項３】

前記第１の重ね合わせマークは、前記第１工程における転写領域の長辺に平行に並んだ第１の複数の長辺マークと、前記第２工程における転写領域の短辺に平行に並んだ第２の複数の短辺マークと、による重ね合わせ、もしくは、

前記第１工程における転写領域の短辺に平行に並んだ第１の複数の短辺マークと、前記第２工程における転写領域の長辺に平行に並んだ第２の複数の長辺マークと、による重ね合わせの内、少なくとも１つを含むことを特徴とする請求項１または２に記載の計測方法。

【請求項４】

前記第２の重ね合わせマークは、前記第１工程における転写領域の短辺に平行に並んだ前記第１の複数の短辺マークと、前記第１の複数の短辺マークに相対して前記短辺に平行に並んだ他の前記第１のショットの第１の複数の短辺マークと、による重ね合わせ、もしくは、

前記第２工程における転写領域の短辺に平行に並んだ第２の複数の短辺マークと、前記第２の複数の短辺マークに相対して前記短辺に平行に並んだ他の前記第２のショットの第２の複数の短辺マークと、による重ね合わせの内、少なくとも１つを含むことを特徴とする請求項２または３に記載の計測方法。

【請求項５】

露光後の現像工程を不要とするレジストを前記基板に用いることを特徴とする請求項１に記載の計測方法。

【請求項６】

請求項１乃至５のいずれか１項に記載の計測方法による計測結果に基づいて前記基板を保持する基板ステージの移動特性を補正することを特徴とするステージ移動特性の調整方法。

【請求項７】

請求項６に記載のステージ移動特性の調整方法を用いて移動特性が調整された前記ステージを用いて、

前記ステージに保持された前記基板を露光することを特徴とする露光方法。

【請求項８】

請求項７に記載の露光方法を用いて基板を露光する工程と、

前記基板を現像する工程と、

該現像された基板を用いて、デバイスを形成する工程と、を備えることを特徴とするデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、半導体デバイス等のデバイスを製造する際に、原版と基板とを相対的に走査して、原版上のパターンを投影光学系を介して基板に投影する走査型露光装置を用いる基板上のショット配列の精度を計測する計測方法に関する。

【背景技術】

【０００２】

半導体デバイス等の素子を製造する際には、基板上に多層の回路パターンを重ねて転写するが、各層に要求される精度の違いから異なる露光装置を用いる場合があり、異なる露光装置間での重ね合わせ精度（マッチング精度）が要求される。

そこで、各露光装置で露光したときの基板内でのショットの配列精度を理想位置に近づけることによって、異なる露光装置間での重ね合わせ精度を向上させることができる。

このため、ショットの配列精度を評価する方法が必要になり、走査型露光装置においては、例えば、以下のようにしてショットの配列精度を評価していた。

図１５に示されるように、スリット状の各ショットｉが他の４つのショットｊ，ｋ，ｌ，ｍと一部重畳する領域を形成するように転写する。

その重畳領域においては、図１６に示されるように、ショットiとショットjによって、重ね合わせマーク１、 ２を形成し、ショットiとショットkによって、重ね合わせマーク３、４を形成する。

さらに、ショットiとショットlによって、重ね合わせマーク５，６を形成し、ショットiとショットmによって、重ね合わせマーク７，８を形成する。

そこで、重ね合わせマーク１～８の相対位置を計測して得たデータから最小二乗法を用いて、各ショットｉ，ｊ，ｋ，ｌ，ｍの位置誤差εx，εyと回転誤差ε θを算出していた。

【特許文献１】特開２００５-６４２６８号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００３】

しかし、上記特許文献１記載の方法では、ショットｉ，ｊ，ｋ，ｌ，ｍの大きさがスリット内に収まる必要があるため、ショットｉ，ｊ，ｋ，ｌ，ｍの短辺方向に平行に並べるショット数が多くなり、露光およびマーク計測に時間が長くかかった。

そこで、本発明は、走査型露光装置を用いる基板上のショット配列の精度を計測する計測方法において、より短時間でショットの配列精度を評価する計測方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【０００４】

上記課題を解決するための本発明の計測方法は、原版と基板とを相対的に走査して、前記原版上のパターンを投影光学系を介して前記基板に投影する露光装置を用いて、前記基板上のショット配列の精度を計測する計測方法において、前記原版に設けられた計測マークを前記基板の複数箇所に転写する第１工程と、第１工程を実行した後、前記基板を保持する基板ステージの移動によって、前記投影光学系の光軸に平行な軸を回転軸として前記基板を９０°回転させる回転工程と、前記回転工程を実行した後、前記計測マークが前記第１工程における転写領域と重なるように、前記基板の複数箇所に前記計測マークを転写する第２工程と、前記第１工程における転写領域と前記第２工程における転写領域とが重なる領域内において、前記第１工程で転写された計測マークと前記第２工程で転写された計測マークと第１の重ね合わせマークの位置ずれを計測する第１計測工程と、前記第１計測工程の計測結果に基づいて、前記基板上のショットの位置誤差、回転誤差、及び、ショット配列の直交度の少なくとも１つを算出する算出工程と、を有することを特徴とする。

【発明の効果】

【０００５】

本発明によれば、走査型露光装置を用いる基板上のショット配列の精度を計測する計測方法において、より短時間でショットの配列精度を評価する。

【発明を実施するための最良の形態】

【０００６】

以下、添付図面を参照して本発明に係る実施例について説明する。

図１（ａ），（ｂ）を参照して、本発明の実施例の走査型露光装置および露光方法について説明する。

本実施例の走査型露光装置は、原版であるレチクル９と基板であるウェハ１１とを相対的に走査して、レチクル９上のパターンを投影光学系である投影レンズ１０を介してウェハ１１に投影する露光装置である。所定のパターンが描画された原版であるレチクル９は、スリット状の細長い照射エリア１８を有する。照明光学系２２は、照射エリア１８に照明光を与え、照射されたレチクル９の描画パターンの一部は投影光学系である投影レンズ

１０を介して、基板であるウェハ１１上の転写領域６０に転写される。基板ステージであるウェハステージ１２は、ウェハ１１を保持し、且つ、投影レンズ１０の光軸と直交するｘｙ平面上で移動可能に設けられる。レーザ干渉計１５，１６，１７は、ウェハステージ１２の位置と回転角度を計測する手段で、反射鏡１３，１４は、ウェハステージ１２に互いに直交するように固定され、レーザ干渉計１５，１６，１７から照射されるレーザを反射する。

【０００７】

更に、図１（ｂ）に示されるように、マーク計測部２３は、ウェハ１１上に転写されたスリット状の細長いショットに含まれる重ね合わせマークを計測する手段である。

また、この露光装置には、ウェハステージ１２の移動、照明光学系２２による照明光の照射などの露光に関わる動作、さらに、レーザ干渉計１５，１６，１７による計測値の演算処理などを行う露光制御部１９が設けられている。露光制御部１９には、演算処理部２０と補正処理部２１とを備え、演算処理部２０は、マーク計測部２３による重ね合わせマークの計測結果から、ウェハ１１上に転写された全てのショットの位置誤差と回転誤差とを一括して演算する演算手段を有する。補正処理部２１は、演算処理部２０により演算された全てのショットの位置誤差と回転誤差とを適正な値に補正して露光制御部１９による制御に反映させる補正手段を有する。

【０００８】

次に、本実施例の基板上のショット配列の精度を計測する計測方法は、この走査型露光装置を用いて、基板上であるウェハ１１上のショット配列の精度を計測する計測方法で、以下の工程から成る。

第１工程では、レチクル９に設けられた計測マークをウェハ１１の複数箇所に転写する。

次に、回転工程では、第１工程を実行した後、ウェハ１１を保持する基板ステージであるウェハステージ１２の移動によって、投影レンズ１０の光軸に平行な軸を回転軸としてウェハ１１を９０°回転させる。この回転により、第１の露光で転写した第１のショットと、第２の露光で転写した第２のショットが、投影レンズ１０の光軸に直交する平面内において直角を形成する。

次に、第２工程では、回転工程を実行した後、前記計測マークが第１工程における転写領域と重なるように、ウェハ１１の複数箇所に前記計測マークを転写する。

次に、第１計測工程では、第１工程における転写領域と第２工程における転写領域とが重なる領域内において、第１工程で転写された計測マークと第２工程で転写された計測マークと第１の重ね合わせマークの位置ずれを計測する。

次に、算出工程では、第１計測工程の計測結果に基づいて、ウェハ１１上のショットの位置誤差、回転誤差、及び、ショット配列の直交度の少なくとも１つを算出する。

【０００９】

さらに、本実施例の基板上のショット配列の精度を計測する計測方法は、この走査型露光装置を用いて、基板上であるウェハ１１上のショット配列の精度を計測する計測方法で、以下の工程から成る。

前記第１の重ね合わせマークは、前記第１工程における転写領域の長辺に平行に並んだ第１の複数の長辺マークと、前記第２工程における転写領域の短辺に平行に並んだ第２の複数の短辺マークと、による重ね合わせる。

もしくは、前記第１工程における転写領域の短辺に平行に並んだ第１の複数の短辺マークと、前記第２工程における転写領域の長辺に平行に並んだ第２の複数の長辺マークと、による重ね合わせる。

【００１０】

本実施例の露光装置により、レチクル９を一定の位置に静止したまま、図２に示されるようにレチクル９上の描画パターンに対応した細長いスリット状の照射エリア１８のパターン像の第１のショット１００が、ウェハ１１上に複数転写される。この第１のショット１００には、２つの長辺に平行に並んで、ｘ方向に沿って等間隔で４箇所ずつ、第１の複

数の長辺マークであるマーク２４，２５，２６、２７、さらに、マーク２８，２９，３０，３１が形成されている。マーク２５，２６，２７，３１は、中空箱型マークで、マーク２４，２８，２９，３０は中実箱型マークである。ここで、マーク２４，２８間、２５，２６間、２７，３１間、２９，３０間の距離ｈ，ｈは全て同じである。

また、パターン像の中心（重心）位置（ｘ軸とｙ軸の交点）からｘ方向に距離ｈの位置にマーク２５，２６，２９，３０が、距離ｄの位置にマーク２４，２７，２８，３１が配置されている。また、これらの８つのマーク２４，２５，２６、２７、２８，２９，３０，３１は、ｙ方向に距離ｈの位置に４つずつ対称に配置されている。

パターン像を、第１の露光において、例えば、図３(ａ)に示されるショット配列のように、ｘ方向にピッチ２(ｄ＋ｈ)、ｙ方向にピッチ２dで複数個の第１のショット１００をウェハ１１上に転写する。

上記工程においてパターン像が解像したウェハ１１を、ウェハステージ１２上の吸着固定台から一旦、取り外す。さらに、第１の露光時のウェハ１１の固定状態に対して、投影光学系である投影レンズ１０の光軸に平行な軸を回転軸として９０°反時計回りに回転させた状態で再びウェハステージ１２上の吸着固定台に装着する。この回転動作の結果、ウェハ１１上に転写されたショットのパターン像のショット１００は、図３(ｂ)に破線で示した配列となる。

【００１１】

次に、ウェハ１１に対してグローバルアライメントを行った後、第２の露光において、図３(ｂ)の実線で示されるように、ｘ方向にピッチ２d、ｙ方向にピッチ２(ｄ＋ｈ)で第２のショット１０１をウェハ１１上に転写する。その結果、第１の露光で転写した縦長の第１のショット１００の上下部分が第２の露光で転写した横長の第２のショット１０１とで、第１の重ね合わせ領域を持つ配列となる。このショット配列において、第２の露光で転写された第２のショット３２は、第２の露光で転写された第２のショット３３，３５と左右の短辺において重畳領域を形成する。

さらに、第２のショット３２は、第１の露光で転写された第１のショット３４，３６の短辺と、上下の長辺の一部が重なる形で第１の重ね合わせ領域を形成している。また、第２の露光で転写された全てのショット１０１について、第２の露光で転写された少なくとも１つの隣接ショット１０１と、また、第１の露光で転写された少なくとも１つのショット１００とで第１の重ね合わせ領域を形成している。

図４に示される第１のショットＡと第２のショットＢとの第１の重ね合わせマーク３７，３８，４１，４２は、以下の重ね合わせである。即ち、図２の第１のショット１００の長辺に平行に並んだ第１の複数の長辺マーク２４，２５，２６，２７：２８，２９，３０，３１と、第２のショット１０１の短辺に平行に並んだ第２の複数の短辺マーク２４，２８：２７，３１と、による重ね合わせである。又は、第１のショット１００の短辺に平行に並んだ第１の複数の短辺マーク２４，２８および２７，３１と、第２のショット１０１の長辺に平行に並んだ第２の複数の長辺マーク２４，２５，２６，２７：２８，２９，３０，３１と、による重ね合わせでもよい。マーク計測部２３は、上記のように形成された重畳領域内の重ね合わせマークの相対距離を計測し、演算処理部２０は、後述するようにウェハ上１１に転写された全てのショット１００，１０１の位置誤差と回転誤差とを一括して演算する。

【００１２】

さらに、本実施例の基板上のショット配列の精度を計測する計測方法は、以下の工程を有する。

第２計測工程において、前記第１工程における転写領域同士もしくは第２工程における転写領域同士の重ね合わせ領域内において、第１工程もしくは第２工程で転写された計測マーク同士の第２の重ね合わせマークの位置ずれを計測する。

さらに、前記第１計測工程による結果と、第２計測工程による結果にも基づいて、ウェハ上１１のショットの位置誤差、回転誤差、及び、ショット配列の直交度の少なくとも１つを算出する。

図３、図４に示されるように第１のショット同士、即ち、第１のショット１００，１００、Ａ，Ａが重なる第２の重ね合わせ領域内の第２の重ね合わせマーク３７，３８，３９，４０，４１、４２を計測し第２計測工程の結果を出す。もしくは、第２のショット同士、即ち、第２のショット１０１，１０１、Ｂ，Ｂが重なる第２の重ね合わせ領域内の第２の重ね合わせマーク３７，３８，３９，４０，４１、４２を計測し第２計測工程の結果を出す。さらに、前記第１計測工程の結果に加えて第２計測工程の結果にも基づいて、全ての第１のショットおよび前記第２のショットの位置誤差、回転誤差、ショット配列の直交度の少なくとも１つを算出する。

【００１３】

さらに、第２の重ね合わせマークは、第１工程における転写領域の短辺に平行に並んだ第１の複数の短辺マークと、第１の複数の短辺マークに相対して前記短辺に平行に並んだ他の前記第１のショットの第１の複数の短辺マークと、による重ね合わせである。
もしくは、第２工程における転写領域の短辺に平行に並んだ第２の複数の短辺マークと、第２の複数の短辺マークに相対して短辺に平行に並んだ他の第２のショットの第２の複数の短辺マークと、による重ね合わせである。

図４に示される第２の重ね合わせマークの内、ショットＢ(i，j)に対して隣接するショットＡ(i，j+１)との間で重畳する第２の重ね合わせマークは、重ね合わせマーク３７、３８、４１、４２である。この第２の重ね合わせマークは、図２の第１のショット１００の短辺に平行に並んだ第１の複数の短辺マーク２４，２８：２７，３１と、第１の複数の短辺マーク２４，２８：２７，３１に相対して短辺に平行に並んだ他の第１のショット１００の第１の複数の短辺マークと、による重ね合わせである。

または、図２の第２のショット１０１の短辺に平行に並んだ第２の複数の短辺マーク２４，２８：２７，３１と、第２の複数の短辺マーク２４，２８：２７，３１に相対して短辺に平行に並んだ他の第２のショット１０１の第２の複数の短辺マークと、による重ね合わせでもよい。

この第２の重ね合わせマーク３７、３８、４１、４２は、中空箱型マークの重心位置を基準とした中実箱型マークの重心位置(dx１(i，j)，dy１(i，j))、(dx２(i，j)，dy２(i，j))、(dx３(i，j)，dy３(i，j))、(dx４(i，j)，dy４(i，j))がx軸方向とy軸方向について計測される。

また、ショットＢ(i，j)に隣接するショットＢ(i+１，j)，Ａ(i，j)との間で重畳する第２の重ね合わせマーク３９、４０から計測されたx軸方向とy軸方向の計測値を各々（dx５(i，j)，dy５(i，j))、(dx６(i，j)，dy６(i，j))と定義する。

このとき、ショットＢ(i，j)，Ａ(i，j+１)，Ｂ(i+１，j)，Ａ(i，j)の全ての第１のショット、第２のショットの位置誤差と、z軸まわりの回転誤差を各々、以下のように定義する。

すなわち、(εx(i，j)，εy(i，j)，εθ(i，j))，(γx(i，j+１)，γy(i，j+１)，γθ(i，j+１))，(εx(i+１，j)，εy(i+１，j)，εθ(i+１，j))，(γx(i，j)，γy(i，j)，γθ(i，j)) と定義する。また、レチクル９の投影像の歪み、あるいは、ステージ駆動スケールによって生じた各重ね合わせマーク毎に一定な固有の誤差を、δx１，δx２，δx３，δx４，δx５，δx６，δy１，δy２，δy３，δy４，δy５，δy６と定義する。

【００１４】

更に、各々の第１および第２の重ね合わせマークを計測するときに生じる丸め誤差等の不規則な誤差をζx１(i，j)，ζx２(i，j)，ζx３(i，j)，ζx４(i，j)，ζx５(i，j)，ζx６(i，j)，ζy１(i，j)，ζy２(i，j)，ζy３(i，j)，ζy４(i，j)，ζy５(i，j)，ζy６(i，j)と定義すれば、以下の(１)～(１２)式の関係が成立する。

【００１５】

【数１－１２】

$$dx1(i,j) = \varepsilon x(i,j) - h\varepsilon\theta(i,j) - \gamma x(i,j+1) - d\gamma\theta(i,j+1) + \delta x1 + \zeta x1(i,j) \quad (1)$$
$$dx2(i,j) = \varepsilon x(i,j) - h\varepsilon\theta(i,j) - \gamma x(i,j+1) - d\gamma\theta(i,j+1) + \delta x2 + \zeta x2(i,j) \quad (2)$$
$$dx3(i,j) = \varepsilon x(i,j) - h\varepsilon\theta(i,j) - \varepsilon x(i+1,j) + h\varepsilon\theta(i+1,j) + \delta x3 + \zeta x3(i,j) \quad (3)$$
$$dx4(i,j) = \varepsilon x(i,j) + h\varepsilon\theta(i,j) - \varepsilon x(i+1,j) - h\varepsilon\theta(i+1,j) + \delta x4 + \zeta x4(i,j) \quad (4)$$
$$dx5(i,j) = \gamma x(i,j) - d\gamma\theta(i,j) - \varepsilon x(i,j) - h\varepsilon\theta(i,j) + \delta x5 + \zeta x5(i,j) \quad (5)$$
$$dx6(i,j) = \gamma x(i,j) - d\gamma\theta(i,j) - \varepsilon x(i,j) - h\varepsilon\theta(i,j) + \delta x6 + \zeta x6(i,j) \quad (6)$$
$$dy1(i,j) = \varepsilon y(i,j) - h\varepsilon\theta(i,j) - \gamma y(i,j+1) + h\gamma\theta(i,j+1) + \delta y1 + \zeta y1(i,j) \quad (7)$$
$$dy2(i,j) = \varepsilon y(i,j) + h\varepsilon\theta(i,j) - \gamma y(i,j+1) - h\gamma\theta(i,j+1) + \delta y2 + \zeta y2(i,j) \quad (8)$$
$$dy3(i,j) = \varepsilon y(i,j) + d\varepsilon\theta(i,j) - \varepsilon y(i+1,j) + d\varepsilon\theta(i+1,j) + \delta y3 + \zeta y3(i,j) \quad (9)$$
$$dy4(i,j) = \varepsilon y(i,j) + d\varepsilon\theta(i,j) - \varepsilon y(i+1,j) + d\varepsilon\theta(i+1,j) + \delta y4 + \zeta y4(i,j) \quad (10)$$
$$dy5(i,j) = \gamma y(i,j) - h\gamma\theta(i,j) - \varepsilon y(i,j) + h\varepsilon\theta(i,j) + \delta y5 + \zeta y5(i,j) \quad (11)$$
$$dy6(i,j) = \gamma y(i,j) + h\gamma\theta(i,j) - \varepsilon y(i,j) - h\varepsilon\theta(i,j) + \delta y6 + \zeta y6(i,j) \quad (12)$$

上記式(１)～(１２)では、全ての重ね合わせマークが完備した縦長ショットの数がＮａとする。

一方、横長ショットで、重ね合わせマークの形成に関わったショットの数がＮｂであったとすると、全ショット数はＮａ＋Ｎｂである。ショット毎にx方向とy方向、θ方向の３つが未知であるから、これに各重ね合わせマークに固有の誤差を加えると、未知数の数は３(Ｎａ＋Ｎｂ)+１２となる。

【００１６】

一方、方程式の数は、次のように求められる。

縦長ショットと横長ショットの重ね合わせによる重ね合わせマークの数は、４Ｎａである。また、横長ショットの配列の行数をＲｂとすると、横長ショット同士の隣接による重ね合わせによる重ね合わせマークの数は、２(Ｎｂ－Ｒｂ)となる。各重ね合わせマークにx，y方向の計測値が得られるので、重ね合わせマークの計測値の数は、８Ｎａ+４(Ｎｂ－Ｒｂ)となる。重ね合わせマークの計測値１つにつき１つの方程式が成り立つので、全ての計測値に関連した方程式の数は、８Ｎａ＋４(Ｎｂ－Ｒｂ)である。

ここで、上記のすべての未知数を、上記の方程式を使って求解しようとすると、不定な連立方程式になって求解できない。このため、縦長ショットの位置誤差γx(ｉ，ｊ)，γy(ｉ，ｊ)と回転誤差γθ(ｉ，ｊ)の平均値とx，y各方向の配列傾き、配列のスケール誤差、また横長ショットの位置誤差εx(ｉ，ｊ)，εy(ｉ，ｊ)と回転誤差εθ(ｉ，ｊ)の平均値を一定値に定める必要がある。

そこで、以下の式(１３)～(２２)の１０個の方程式を加える。

【００１７】

【数１３－２２】

$$\sum \gamma x(i,j) = 0 \quad (13)$$

$$\sum \gamma y(i,j) = 0 \quad (14)$$

$$\sum \gamma\ \theta(i,j) = 0 \quad (15)$$

$$\sum X\gamma(i,j)\gamma x(i,j) = 0 \quad (16)$$

$$\sum Y\gamma(i,j)\gamma y(i,j) = 0 \quad (17)$$

$$\sum X\gamma(i,j)\gamma y(i,j) = 0 \quad (18)$$

$$\sum Y\gamma(i,j)\gamma x(i,j) = 0 \quad (19)$$

$$\sum \varepsilon x(i,j) = 0 \quad (20)$$

$$\sum \varepsilon y(i,j) = 0 \quad (21)$$

$$\sum \varepsilon\ \theta(i,j) = 0 \quad (22)$$

式(１３)は、縦長ショットの全体のｘ方向のシフト量を０と定義する。
式(１４)は、縦長ショットの全体のｙ方向のシフト量を０と定義する。
式(１５)は、縦長ショットの全体の回転誤差を０と定義する。
式(１６)は、縦長ショットの全体のｘ方向の倍率を０と定義する。
式(１７)は、縦長ショットの全体のｙ方向の倍率を０と定義する。
式(１８)は、縦長ショットの全体のｘ軸に対する配列の傾きを０と定義する。
式(１９)は、縦長ショットの全体のｙ軸に対する配列の傾きを０と定義する。
式(２０)は、横長ショットの全体のｘ方向のシフト量を０と定義する。
式(２１)は、横長ショットの全体のｙ方向のシフト量を０と定義する。
式(２２)は、横長ショットの全体の回転誤差を０と定義すること。

但し、Σは、縦長ショット、横長ショットのそれぞれにおいて、配列を求めようとするすべてのショットの行列番号(i，j)についての総和である。

また、Xγ(i，j)とYγ(i，j)は、ショットA(i，j)の中心のウェハ１１の座標位置を示し、第１の露光で転写された全てのショット１００の総和が零になるよう調整されたものである。

【００１８】

この結果、式(１)～(２２)で表される方程式の数は、８Ｎａ＋４(Ｎｂ－Ｒｂ)＋１０個となる。また、上記したように、この連立方程式における未知数は全部で３(Ｎａ＋Ｎｂ)+１２個存在する。ここで、３(Ｎａ＋Ｎｂ)＋１２個の全ての未知数で構成される、行数３(Ｎａ＋Ｎｂ)+１２の列ベクトルをｕとする。

さらに、式(１３)～(２２)の右辺を含めた８Ｎａ+４(Ｎｂ-Ｒｂ)+１０個の既知の数で構成される、行数８Ｎａ＋４(Ｎｂ－Ｒｂ)+１０の列ベクトルをdとすると、求解するための連立方程式は、行列Mを用いて、式(２３)のように表すこととなる。

$$d=Mu \quad \cdots(23)$$

ここで、行列Mは、行数８Ｎａ＋４(Ｎｂ－Ｒｂ)+１０，列数３(Ｎａ＋Ｎｂ)+１２の行列である。

【００１９】

式(２４，(２５)が同時に成り立つときは、ζx１(i，j)等の不規則な誤差を全て零として、未知数を一意的に求めることができる。

$$rank(M)=rank(M, d) \cdots(24)$$

$$rank(M)=3(Na+Nb)+1 \cdots(25)$$

式(２６，(２７)が同時に成り立つときは最小二乗法を用いることにより、ζx１(i，j)等の不規則な誤差の二乗和が最小となるように、未知数を求解することができる。

$$rank(M)<rank(M, d) \cdots(26)$$

$$rank(M)=3(Na+Nb)+12 \cdots(27)$$

但し、式(２４)～(２６)において、ｒａｎｋ(M)は行列Mの階数を意味し、式(２４)，(２６)において、行列(M，d)は拡大係数行列を意味するものとする。

演算処理部２０において、以上のようにして数学的な演算手段を用いて一括した演算処理を行うことにより、ウェハ１１上に転写された全てのショット１００，１０１の相対的な位置誤差と回転誤差が算出できる。

【００２０】

次に、図５に示されるように以下の方向を定義する。

縦長ショットの配列方向４３は、ウェハ１１において、第１の露光時にウェハステージ１２が、ｘ方向に駆動することによって形成する方向である。縦長ショットの配列方向４４は、ウェハステージ１２が、ｙ方向に駆動することによって形成する方向である。

横長ショットの配列方向４５は、第２の露光時にウェハステージ１２が、ｘ方向に駆動することによって形成する方向である。横長ショットの配列方向４６は、ウェハステージ１２が、ｙ方向に駆動することによって形成する方向である。第２の露光で転写された各ショット１０１について、そのショット１０１のウェハ座標(Xε(i,j),Yγ(i,j))を定義すると、Xε(i,j)と前記のｙ方向の位置誤差εy(i,
j)を用いて回帰直線を求めることで、直線４４と直線４５の相対角度Wθxが求められる。

同様にして、Yγ(i,j)と前記のｙ方向の位置誤差εy(i，j)を用いて、直線４３と直線４６の相対角度Wθyが求められる。

【００２１】

また、ウェハ１１において縦長ショットが形成するショット配列の直交度Wθ１と横長ショットが形成するショット配列の直交度Wθ２を定義すると、式(２８)が成立する。

$$W\theta 1=W\theta 2-W\theta y+W\theta x \cdots(28)$$

第１の露光時と第２の露光時で、ウェハステージ１２のｘ方向，ｙ方向の駆動方向は変わらないことから、式(２９)が成立する。

$$W\theta 1+W\theta 2=\pi \cdots (29)$$

式(２８)，(２９)を連立させることにより、式(２６)のように、Wθ２が求まる。

$$W\theta 2= 1/2(W\theta y-W\theta x+\pi) \cdots(30)$$

以上のような演算処理を行うことにより、演算処理部２０ではステージのｘ方向の移動方向とｙ方向の移動方向のなす角度のずれ、すなわちショット配列の直交度を求めることができる。

この結果を踏まえて計算すると、既述のショットの位置誤差は、ショット配列の直交度の情報を含んだものにすることができる。補正処理部２１ではこの演算処理部２０により演算された全てのショットの位置誤差と回転誤差を、後述の方法のように適正な値に補正して露光制御部１９による制御、例えばウェハステージ１２の移動制御（位置補正）に反映させる。

上記工程で得られたショットの位置誤差と回転誤差は、ウェハステージ１２の駆動位置に対応して離散的な計測値であるが、ウェハステージ１２の移動制御に反映させるためには、ウェハステージ１２の駆動位置に対して連続的な補正値を作成しなければならない。

【００２２】
次に、本実施例のステージ移動特性の調整方法は、前記計測方法による計測結果に基づいてウェハ１１を保持するウェハステージ１２の移動特性を補正する。
ここで、連続的な補正値の作成方法について説明する。
干渉計１６，１７の光軸の平行度に誤差があると、ウェハステージ１２がｘ軸方向に駆動する際、ｘ軸の駆動距離に比例してz軸回りの姿勢（回転角度）が変化する。また、反射鏡１３，１４の鏡面の直交度に誤差があると、ウェハステージ１２は反射鏡１３，１４の鏡面と平行に駆動するので、駆動軸の直交度において、前記誤差と同量の誤差が生じる。前記の回転角度の誤差および直交度の誤差は、原理上、ウェハステージ１２の駆動位置に対して線形的なものであるから、ウェハステージ１２の駆動位置に応じて線形的かつ連続的な補正値を作成する。また、反射鏡１３，１４の鏡面の平坦度によって、ウェハステージ１２がｘ軸，ｙ軸方向に駆動する際、駆動軸の直線性において、それぞれの反射鏡の平坦度と同量の誤差が生じる。この理由に起因するｘ軸の直線性はいずれのｙ座標においても共通であり、同様にｙ軸の直線性はいずれのｘ座標においても共通である。従って、ｘ軸の直線性は、全てのｙ座標におけるｙ方向位置ずれの値を平均化し、ｙ軸の直線性は全てのｘ座標におけるｘ方向位置ずれの値を平均化することによって算出できる。このようにして算出した、反射鏡１３，１４の平坦度に由来するｘ軸とｙ軸の直線性は、位置誤差に関する離散的なデータ系列である。しかし、データが無い範囲については、連続した２点の計測値を直線で結び、あるいは、複数点の計測値を曲線近似などして、連続的な補正値を算出できる。
【００２３】
上記の線形的な回転誤差，直交度の誤差，ウェハステージ１２のｙ座標（或いはｘ座標）に共通なｘ軸（或いはｙ軸）の直線性は、それぞれ、干渉計１６，１７の平行度，反射鏡１３，１４の直交度，反射鏡１３，１４の平坦度に起因する。このため、前記構成部品の取付精度や加工精度が本実施例の計測精度以上のものでない限り、補正が必要となる。前記原因以外にも、ショットの位置誤差もしくは回転誤差に影響を及ぼす場合がある。即ち、干渉計１６，１７のｘｙ平面内での平行度、反射鏡１３，１４の直交度と平坦度、反射鏡１３，１４とウェハ１１上の露光位置との相対距離関係が、何らかの原因により、ウェハステージ１２の駆動位置に相関して変化する場合である。このような場合でも、本実施例の計測結果を考慮しながら補正をすることができ、ショットの位置誤差や回転誤差が、ｘ座標とｙ座標の双方に相関して変化するようなときは、平面近似を用いることにより、連続的な補正値を算出できる。
【００２４】
上述の一連の流れは、露光後の現像工程を不要としてパターン像を自動生成する、いわゆる、潜像レジストをウェハ１１に用いることで、第１の露光から補正値の反映までの一連の動作を、ソフトウエア制御による自動化によって行う。なお、このレジストとしては、ジアゾナフトキノン、ノボラック系樹脂等の溶解阻害剤から成るレジスト、ノボラック系樹脂、ポリビニールフェノール系樹脂、ポリアクリル酸系樹脂等と、光酸発生剤から成る化学増幅型レジスト等を用いることができる。
以上説明したように本実施例によれば、ショットの位置誤差と回転誤差を短時間に計測できる。また、上記の計測結果に基づいてウェハステージ１２の位置に応じた適切なるウェハステージ１２の直線性と回転誤差の補正を行い、マッチング精度を高める調整を短時間で実現でき、半導体デバイスを製造する所要時間は、より短くなる。
【００２５】
次に、図６、図７、図８を参照して、本発明に係る実施例２を説明する。
本実施例２は、図２に示されるパターン像のショット１００に対して、図６に示されるマーク４７、４８、４９、５０のようにマーク配置場所は変えずに中空箱型マークと中実箱型マークの種類を変更したパターン像のショット１０２を用いる。さらに、図７及び図８に示されるように第１の露光および第２の露光の両者において、x方向およびｙ方向のショット１０２，１０３の配置のステップ幅を共に２dとした。この場合、図７に示され

るように第２の露光で転写されたショット５１は、第１の露光で転写されたショット５２と交差する形で重畳領域を形成し、第１の露光で転写されたショット５２，５３は互いに短辺同士で重畳領域を形成している。これは、第１の露光および第２の露光いずれにおいてもショット１０２，１０３のx方向及びｙ方向のステップ幅が２dである。このため、求めたいショット配列のステップ幅がx方向およびｙ方向共に同じ一定値にする場合、そのステップ幅で２回分のデータが得られるため、より正確な計測と補正を行うことができる。

なお、第１の露光と第２の露光で、ステップ幅のみならず、ショット１０２，１０３のレイアウトを全く同じにできるので、特定のショットレイアウトにおけるショット配列を求めたいときに、より正確な計測と補正が期待できる。

【００２６】

次に、図９、図１０、図１１を参照して、本発明の実施例３を説明する。

本実施例３は、図２に示されるのパターン像のショット１００に対して、図９に示されるように、パターン像のショット１０４の中心位置からｘ方向に距離(d－ｈ)の位置にマーク５４、５５、５６、５７を追加する。さらに、図１０及び図１１に示されるように、第１の露光において転写したマーク１０４と、第２の露光において転写したマーク１０５が重なるように配置する。即ち、第１の露光および第２の露光の両者において、x方向およびｙ方向のショット１０４、１０５の配置のステップ幅を共に２ｄとする。この場合もまた、第１の露光・第２の露光いずれにおいてもショット１０４、１０５のx方向及びｙ方向のステップ幅が２dである。このため、求めたいショット配列のステップ幅がx方向およびｙ方向共に同じ一定値にする場合、そのステップ幅で２回分のデータが得られるため、より正確な計測と補正を行うことができる。

更に、実施例２の場合に比べ、ショット数や計測マークの数が減少するので、露光および計測に要する時間の短縮をすることができる。

【００２７】

次に、図６、図１２、図１３を参照して、本発明の実施例４を説明する。

本実施例４は、図６に示されるパターン像のショット１０２を用いて、図１２及び図１３に示されるように、第２の露光において、ショット１０２の長辺方向の並びの位相をずらす。さらに、第１の露光で転写されたショット１０２同士の重畳領域や、第２の露光で転写されたショット１０２同士の重畳領域を形成しない場合である。この場合は、ショット１０２の長辺方向において、ショット１０２が配置されている座標の密度が高まるため、高密度のショット配列で計測したいときに有用である。

【００２８】

次に、図１４を参照して、本発明の実施例５を説明する。

本実施例５は、図２に示されるパターン像のショット１００に対して、図１４に示されるように、ショット１０６において重畳領域に形成するマークの数を増加した場合、すなわち、マーク１０６ａ，１０６ｂを増加した場合である。本実施例５によれば、第１及び第１の重ね合わせマークを計測する時の誤差である、ζx1(i，j)，ζx2(i，j)，ζx3(i，j)，ζx4(i，j)，ζx5(i，j)，ζx6(i，j)，ζy1(i，j)，ζy2(i，j)，ζy3(i，j)，ζy4(i，j)，ζy5(i，j)，ζy6(i，j)の影響を小さくし、推定精度を高める。

【００２９】

（デバイス製造方法の実施例）

デバイス（半導体集積回路素子、液晶表示素子等）は、前述のいずれかの実施例の露光装置を使用して、感光剤を塗布した基板（ウェハ、ガラスプレート等）を露光する工程と、その基板を現像する工程と、他の周知の工程と、を経ることにより製造される。他の周知の工程には、エッチング、レジスト剥離、ダイシング、ボンディング、パッケージング等を含む。

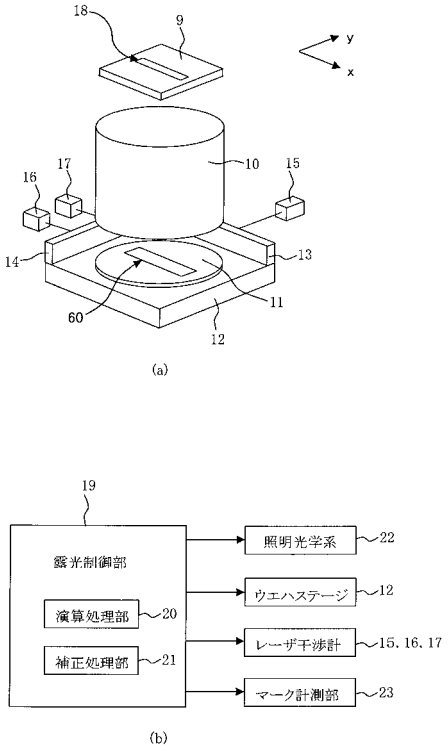
【図面の簡単な説明】

【００３０】

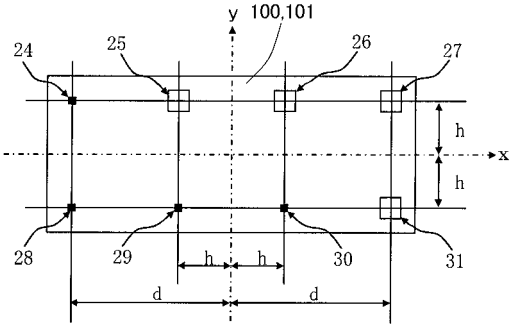
【図１】本発明に係る実施例の走査型露光装置の概略構成図である。

【図２】本発明に係る実施例１で用いられるレチクルパターンの説明図である。
【図３】本発明に係る実施例１のショットの全体配置図である。
【図４】本発明に係る実施例１のショット配置の部分拡大図である。
【図５】本発明に係る実施例１でショット配列の直交度を求める際の概念図である。
【図６】本発明に係る実施例２で用いられるレチクルパターンの説明図である。
【図７】本発明に係る実施例２のショット配置の部分拡大図である。
【図８】本発明に係る実施例２のショットの全体配置図である。
【図９】本発明に係る実施例３で用いるレチクルパターンの説明図である。
【図１０】本発明に係る実施例３のショット配置の部分拡大図である。
【図１１】本発明に係る実施例３のショットの全体配置図である。
【図１２】本発明に係る実施例４のショット配置の部分拡大図である。
【図１３】本発明に係る実施例４のショットの全体配置図である。
【図１４】本発明に係る実施例５で用いるレチクルパターンの説明図である。
【図１５】ショットの位置誤差と回転を計測する従来例のショットの全体配置図である。
【図１６】ショットの位置誤差と回転を計測する従来例のショットの配置の部分拡大図である。
【符号の説明】
【００３１】
１，２，３，４，５，６，７，８　重畳した重ね合わせマーク
９　レチクル（原版）　１０　投影レンズ（投影光学系）
１１　ウェハ（基板）　１２　ウェハステージ（基板ステージ）
１３　レーザ干渉計反射鏡　１４　レーザ干渉計反射鏡
１５，１６，１７　レーザ干渉計　１８　レチクル上の照射領域
１９　露光制御部　２０　演算処理部（演算手段）
２１　補正処理部（補正手段）　２２　照明光学系
２３　マーク計測部（計測手段）　２４，２８，２９，３０　中実箱型マーク
２５，２６，２７，３１　中空箱型マーク
３２　第２の露光で転写された、任意のショット
３３，３４，３５，３６　第２の露光で転写されたショットと一部で重畳するショット
３７，３８，３９，４０，４１，４２　重畳した重ね合わせマーク
４３　第１の露光時にウェハステージがｘ方向に駆動することによって形成する、縦長ショットの配列方向
４４　第１の露光時にウェハステージがｙ方向に駆動することによって形成する、縦長ショットの配列方向
４５　第２の露光時にウェハステージがｘ方向に駆動することによって形成する、横長ショットの配列方向
４６　第２の露光時にウェハステージがｙ方向に駆動することによって形成する、横長ショットの配列方向
４７，４８，４９，５０　種類を変更した重ね合わせマーク
５１　第２の露光で転写された任意のショット
５２　第２の露光で転写されたショットと重畳領域を形成する、第１の露光で転写されたショット
５３　第１の露光で転写されたショットと短辺同士で重畳領域を形成する、第１の露光で転写されたショット
５４，５５，５６，５７　追加した重ね合わせマーク
６０　ウェハ上の転写領域

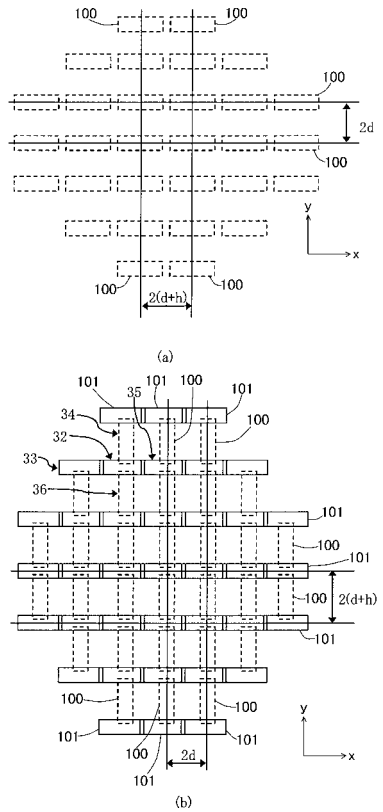
【図１】


18
9
y
x
16
17
10
15
14
13
11
60
12
(a)
19
露光制御部
演算処理部
20
補正処理部
21
照明光学系
22
ウエハステージ
12
レーザ干渉計
15、16、17
マーク計測部
23
(b)

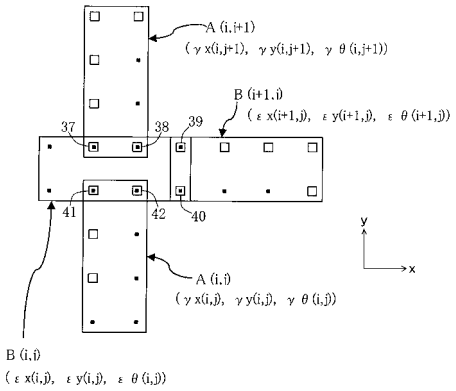
【図２】


y
100,101
24
25
26
27
h
h
x
28
29
h
h
30
31
d
d

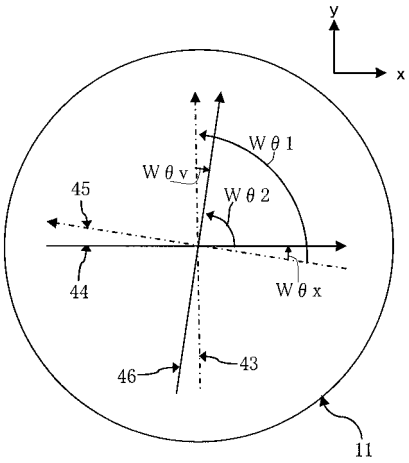
【図３】


100
100
100
2d
100
y
x
100
100
2(d+h)
(a)
101
101
100
101
35
34
100
32
33
36
101
100
101
100
2(d+h)
101
100
100
y
x
101
101
100
2d
101
(b)

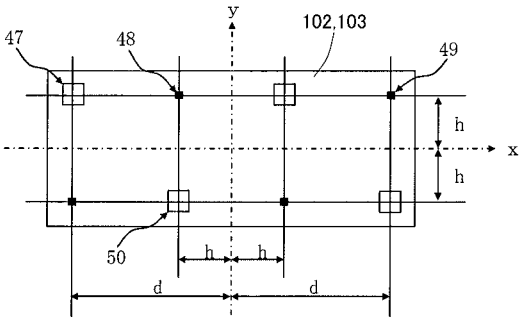
【図４】


A (i,i+1)
(γx(i,j+1), γy(i,j+1), γθ(i,j+1))
B (i+1,i)
(εx(i+1,j), εy(i+1,j), εθ(i+1,j))
37
38
39
41
42
40
y
x
A (i,i)
(γx(i,j), γy(i,j), γθ(i,j))
B (i,i)
(εx(i,j), εy(i,j), εθ(i,j))

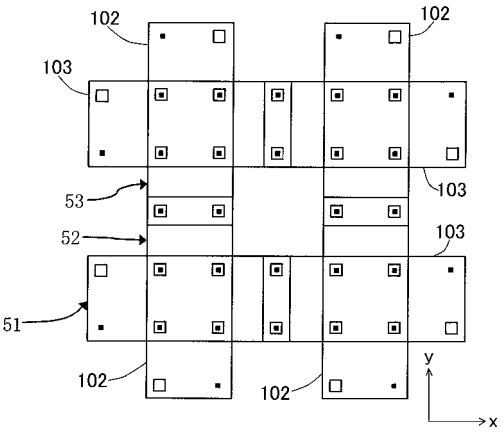
【図５】



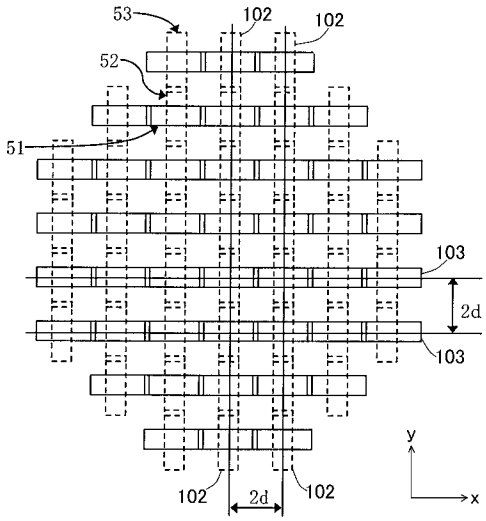
【図６】



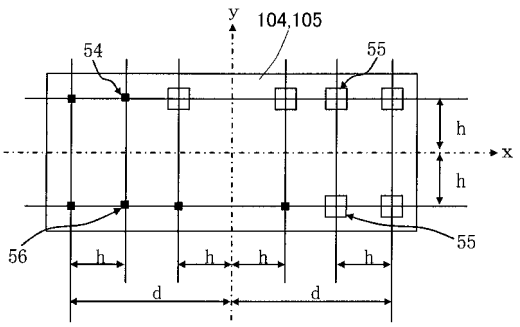
【図７】



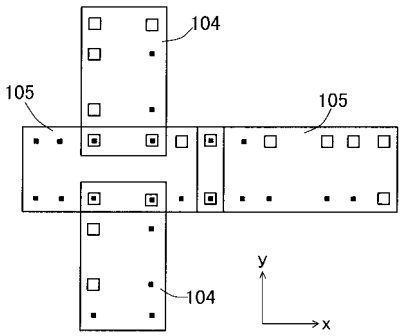
【図８】



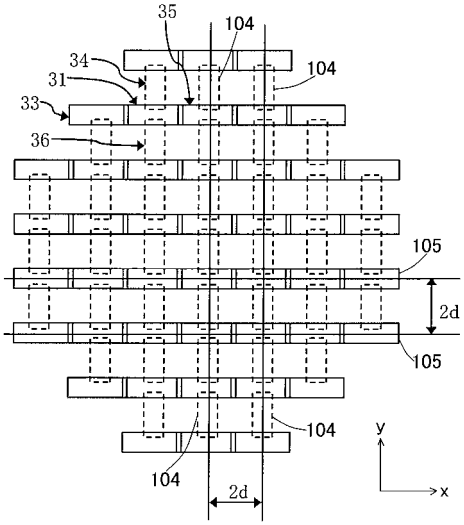
【図９】



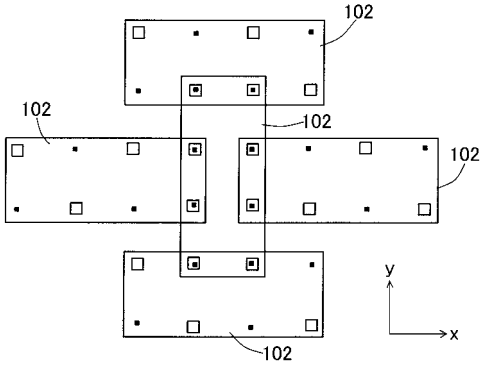
【図１０】



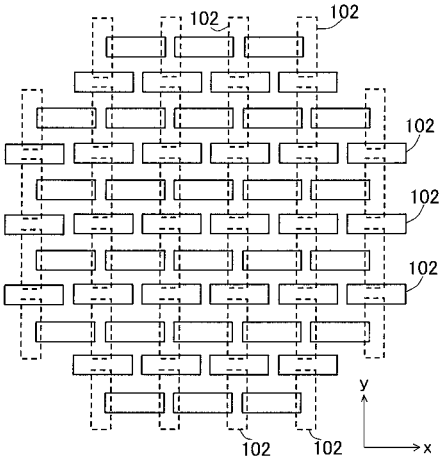
【図１１】



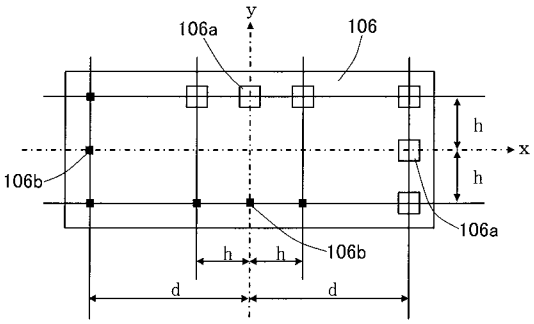
【図１２】



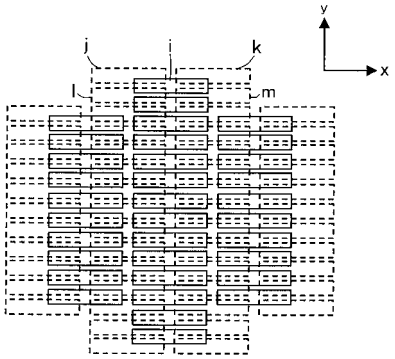
【図１３】



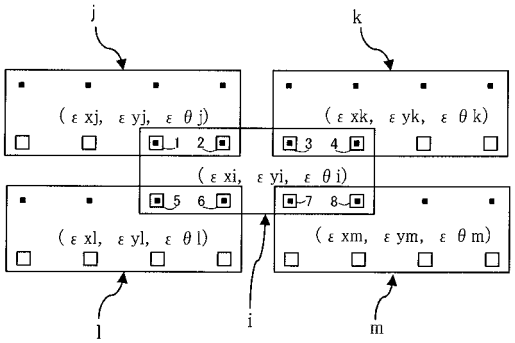
【図１４】



【図１５】



【図１６】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. FI
H01L 21/68 F

(56)参考文献 特開平02－005568（JP, A）
特開平09－050950（JP, A）
特開平09－050953（JP, A）
特開平10－144587（JP, A）
特開2000－182930（JP, A）
特開2000－299278（JP, A）
特開2002－270489（JP, A）
特開2005－064268（JP, A）

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 21／027、21／68
G03F 7／20－ 7／24、 9／00－ 9／02