

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3706364号

(P3706364)

(45) 発行日 平成17年10月12日(2005.10.12)

(24) 登録日 平成17年8月5日(2005.8.5)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

F I

G O 3 F 1/08

G O 3 F 1/08 A

G O 3 F 7/20

G O 3 F 7/20 5 2 1

H O 1 L 21/027

H O 1 L 21/30 5 O 2 P

請求項の数 31 外国語出願 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2002-331394 (P2002-331394)	(73) 特許権者	502120538
(22) 出願日	平成14年10月9日(2002.10.9)		アスムル マスクツールズ ビー、ブイ、
(65) 公開番号	特開2003-215780 (P2003-215780A)		オランダ国、フェルトホーフェン、デル
(43) 公開日	平成15年7月30日(2003.7.30)		ン 1110
審査請求日	平成16年4月14日(2004.4.14)	(74) 代理人	100066692
(31) 優先権主張番号	327302		弁理士 浅村 皓
(32) 優先日	平成13年10月9日(2001.10.9)	(74) 代理人	100072040
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 浅村 肇
		(74) 代理人	100087217
			弁理士 吉田 裕
		(74) 代理人	100080263
			弁理士 岩本 行夫
		(72) 発明者	トーマス ライディグ
			追って補充致します

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 2次元フィーチャ・モデルの較正および最適化方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

結像システムで使用するための較正モデルを生成する方法であって、  
 所定のデータ・フォーマットで表される1組の較正パターンを定義するステップと、  
 前記結像システムを利用して基板上に前記較正パターンを印刷するステップと、  
 前記基板上に結像される前記較正パターンに対応する第1の組の輪郭パターンを決定するステップであって、前記較正パターンに対する前記第1の組の輪郭パターンの位置オフセットを決定すること、および該位置オフセットを補償することを含むステップと、  
 前記結像システムの結像性能に近似するシミュレーション関数を生成するステップと、  
 前記較正パターンがどのように前記基板内に結像されるかを定義するために前記シミュレーション関数を利用して第2の組の輪郭パターンを決定するステップと、  
 前記第1の組の輪郭パターンと前記第2の組の輪郭パターンを比較して、前記第1の組の輪郭パターンと前記第2の組の輪郭パターンの差を求めるステップと、  
 前記第1の組の輪郭パターンと前記第2の組の輪郭パターンの前記差が所定の基準を下回るまで前記シミュレーション関数を調節するステップと  
 を含む較正モデル生成方法。

【請求項2】

前記較正パターンを表すために利用されるデータ・フォーマットが多角形データ・フォーマットである請求項1に記載の較正モデル生成方法。

【請求項3】

前記較正パターンに対応する第 1 の組の輪郭パターンを決定する前記ステップが、  
走査電子顕微鏡を用いて、前記基板上に形成された前記較正パターンを記録するステップと、

前記較正パターンを測定して前記第 1 の組の輪郭パターンに対応する前記較正パターンの 2 次元輪郭を求めるステップと

を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の較正モデル生成方法。

【請求項 4】

前記較正パターンを記録する前記ステップが、前記較正パターンに対応するレジスト・パターンを結像するステップを含む請求項 3 に記載の較正モデル生成方法。

【請求項 5】

前記第 1 の組の輪郭パターンを POLYGON (多角形) データ・フォーマットに変換するステップをさらに含む請求項 3 に記載の較正モデル生成方法。

【請求項 6】

前記較正パターンが、半導体デバイスで用いるフィーチャを表している請求項 1 に記載の較正モデル生成方法。

【請求項 7】

前記第 2 の組の輪郭パターンが、前記多角形データ・フォーマットになっている請求項 5 に記載の較正モデル生成方法。

【請求項 8】

結像システムを利用して、マスク内に形成されたパターンを基板上に光学的に転写するためのフォトリソグラフィ・マスクを生成する方法であって、

所定のデータ・フォーマットで表される 1 組の較正パターンを定義するステップと、

前記結像システムを用いて基板上に前記較正パターンを印刷するステップと、

前記基板上に結像される前記較正パターンに対応する第 1 の組の輪郭パターンを決定するステップであって、前記較正パターンに対する第 1 の組の輪郭パターンの位置オフセットを決定すること、および該位置オフセットを補償することを含むステップと、

前記結像システムの結像性能に近似するシミュレーション関数を生成するステップと、

前記較正パターンがどのように前記基板内に結像されるかを定義するために前記シミュレーション関数を利用して第 2 の組の輪郭パターンを決定するステップと、

前記第 1 の組の輪郭パターンと前記第 2 の組の輪郭パターンを比較して、前記第 1 の組の輪郭パターンと前記第 2 の組の輪郭パターンの差を求めるステップと、

前記第 1 の組の輪郭パターンと前記第 2 の組の輪郭パターンの前記差が所定の基準を下回るまで前記シミュレーション関数を調節するステップと、

前記調節されたシミュレーション関数を用いて前記マスクを修正し、それによって光近接補正を提供するステップと

を含むフォトリソグラフィ・マスク生成方法。

【請求項 9】

前記較正パターンを表すために利用されるデータ・フォーマットが POLYGON (多角形) データ・フォーマットである請求項 8 に記載のフォトリソグラフィ・マスク生成方法。

【請求項 10】

前記較正パターンに対応する第 1 の組の輪郭パターンを決定する前記ステップが、  
走査電子顕微鏡を用いて、前記基板上に形成された前記較正パターンを記録するステップと、

前記較正パターンを測定して前記第 1 の組の輪郭パターンに対応する前記較正パターンの 2 次元輪郭を求めるステップと

を含む請求項 8 に記載のフォトリソグラフィ・マスク生成方法。

【請求項 11】

前記較正パターンを記録する前記ステップが、前記較正パターンに対応するレジスト・パターンを結像するステップを含む請求項 10 に記載のフォトリソグラフィ・マスク生成

10

20

30

40

50

方法。

【請求項 1 2】

前記第 1 の組の輪郭パターンを多角形データ・フォーマットに変換するステップをさらに含む請求項 1 0 に記載のフォトリソグラフィ・マスク生成方法。

【請求項 1 3】

前記較正パターンが、半導体デバイス内で用いるフィーチャを表している請求項 8 に記載のフォトリソグラフィ・マスク生成方法。

【請求項 1 4】

前記第 2 の組の輪郭パターンが、前記 POLYGON (多角形) データ・フォーマットである請求項 1 2 に記載のフォトリソグラフィ・マスク生成方法。

10

【請求項 1 5】

コンピュータによって読取り可能な記録媒体と、マスク内に形成されたパターンを基板上に光学的に転写するためのマスクを生成する際に用いる較正モデルを生成するようにコンピュータに指示するために前記記録媒体に記録された手段とを備えるコンピュータを制御するためのコンピュータ・プログラムであって、前記較正モデルを生成するステップが

、  
 所定のデータ・フォーマットで表される 1 組の較正パターンを定義するステップと、  
 前記基板上に結像される前記較正パターンに対応する第 1 の組の輪郭パターンを決定するステップであって、前記較正パターンに対する前記第 1 の組の輪郭パターンの位置オフセットを決定すること、および倍位置オフセットを補償することを含むステップと、

20

前記結像システムの結像性能に近似するシミュレーション関数を生成するステップと、  
 前記較正パターンがどのように前記基板内に結像されるかを定義するために前記シミュレーション関数を用いて第 2 の組の輪郭パターンを決定するステップと、

前記第 1 の組の輪郭パターンと前記第 2 の組の輪郭パターンを比較して、前記第 1 の組の輪郭パターンと前記第 2 の組の輪郭パターンの差を求めるステップと、

前記第 1 の組の輪郭パターンと前記第 2 の組の輪郭パターンの前記差が所定の基準を下回るまで前記シミュレーション関数を調節するステップと

を含むことを特徴とするコンピュータ・プログラム。

【請求項 1 6】

コンピュータによって読取り可能な記録媒体と、マスク内に形成されるパターンを基板上に光学的に転写するためのマスクを生成するようにコンピュータに指示するために前記記録媒体に記録された手段とを備えるコンピュータを制御するためのコンピュータ・プログラムであって、前記マスクを生成するステップが、

30

所定のデータ・フォーマットで表される 1 組の較正パターンを定義するステップと、  
 前記基板上に結像される前記較正パターンに対応する第 1 の組の輪郭パターンを決定するステップであって、前記較正パターンに対する前記第 1 の組の輪郭パターンの位置オフセットを決定すること、および該位置オフセットを補償することを含むステップと、

前記結像システムの結像性能に近似するシミュレーション関数を生成するステップと、  
 前記較正パターンがどのように前記基板内に結像されるかを定義するために前記シミュレーション関数を用いて第 2 の組の輪郭パターンを決定するステップと、

40

前記第 1 の組の輪郭パターンと前記第 2 の組の輪郭パターンを比較して、前記第 1 の組の輪郭パターンと前記第 2 の組の輪郭パターンの差を求めるステップと、

前記第 1 の組の輪郭パターンと前記第 2 の組の輪郭パターンの前記差が所定の基準を下回るまで前記シミュレーション関数を調節するステップと、

前記調節されたシミュレーション関数を用いて前記マスクを修正し、それによって光近接補正を提供するステップと

を含むことを特徴とするコンピュータ・プログラム。

【請求項 1 7】

( a ) 放射線感光材料の層で少なくとも部分的に覆われている基板を供給するステップと、

50

(b) 結像システムを用いて放射線の投影ビームを供給するステップと、  
(c) マスク上のパターンを使用して前記投影ビームの断面にパターンを与えるステップと、  
(d) 前記パターン付けされた放射線のビームを前記放射線感光材料の層のターゲット部分に投影するステップとを含むデバイス製造方法であって、  
ステップ(c)で、前記マスクが、  
所定のデータ・フォーマットで表される1組の較正パターンを定義するステップと、  
前記結像システムを用いて試験基板上に前記較正パターンを印刷するステップと、  
前記試験基板上に結像された前記較正パターンに対応する第1の組の輪郭パターンを決定するステップであって、前記較正パターンに対する前記第1の組の輪郭パターンの位置オフセットを決定すること、および該位置オフセットを補償することを含むステップと、  
前記結像システムの結像性能に近似するシミュレーション関数を生成するステップと、  
前記較正パターンがどのように前記試験基板内に結像されるかを定義するために前記シミュレーション関数を用いて第2の組の輪郭パターンを決定するステップと、  
前記第1の組の輪郭パターンと前記第2の組の輪郭パターンを比較して、前記第1の組の輪郭パターンと前記第2の組の輪郭パターンの差を求めるステップと、  
前記第1の組の輪郭パターンと前記第2の組の輪郭パターンの前記差が所定の基準を下回るまで前記シミュレーション関数を調節するステップと、  
前記マスクを修正するために前記調節されたシミュレーション関数を用い、それによって光近接補正を提供するステップと  
を含む方法によって形成されることを特徴とするデバイス製造方法。

【請求項18】

前記シミュレーション関数を調節する前記ステップが、前記シミュレーション関数と関連する係数を調節することを含む請求項1に記載の較正モデル生成方法。

【請求項19】

前記シミュレーション関数を調節する前記ステップが、新たなシミュレーション関数を生成することを含む請求項1に記載の較正モデル生成方法。

【請求項20】

前記シミュレーション関数を調節する前記ステップが、前記シミュレーション関数と関連する係数を調節することを含む請求項8に記載のフォトリソグラフィ・マスク生成方法。

【請求項21】

前記シミュレーション関数を調節する前記ステップが、新たなシミュレーション関数を生成することを含む請求項8に記載のフォトリソグラフィ・マスク生成方法。

【請求項22】

前記第1の組の輪郭を決定するステップが、前記基板上に結像された前記較正パターンを拡大することを含む請求項1に記載の較正モデル生成方法。

【請求項23】

前記第1の組の輪郭を決定するステップが、前記基板上に結像された前記較正パターンを拡大することを含む請求項8に記載のフォトリソグラフィ・マスク生成方法。

【請求項24】

前記第1の組の輪郭を決定するステップが、前記基板上に結像された前記較正パターンを拡大することを含む請求項15に記載のコンピュータ・プログラム。

【請求項25】

前記第1の組の輪郭パターンおよび前記第2の組の輪郭パターンが2次元輪郭パターンを含む請求項1に記載の較正モデル生成方法。

【請求項26】

前記第1の組の輪郭パターンおよび前記第2の組の輪郭パターンが2次元輪郭パターンを含む請求項8に記載のフォトリソグラフィ・マスク生成方法。

【請求項27】

10

20

30

40

50

前記第 1 の組の輪郭パターンおよび前記第 2 の組の輪郭パターンが 2 次元輪郭パターンを含む請求項 15 に記載のコンピュータ・プログラム。

【請求項 28】

前記位置オフセットが、回転オフセット、 $x - y$  方向の位置オフセット、および拡大誤差に起因する倍率オフセットのうち少なくとも 1 つを含む請求項 1 に記載の較正モデル生成方法。

【請求項 29】

前記位置オフセットが、回転オフセット、 $x - y$  方向の位置オフセット、および拡大誤差に起因する倍率オフセットのうち少なくとも 1 つを含む請求項 8 に記載のフォトリソグラフィ・マスク生成方法。

10

【請求項 30】

前記位置オフセットが、回転オフセット、 $x - y$  方向の位置オフセット、および拡大誤差に起因する倍率オフセットのうち少なくとも 1 つを含む請求項 15 に記載のコンピュータ・プログラム。

【請求項 31】

前記位置オフセットが、回転オフセット、 $x - y$  方向の位置オフセット、および拡大誤差に起因する倍率オフセットのうち少なくとも 1 つを含む請求項 17 に記載のデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

20

【発明の属する技術分野】

本発明は、広義にはフォトリソグラフィに関するものであり、より詳細には、光近接効果の補正および基板上へのマスク・パターンの印刷の改良のために後で利用される結像システムの性能を定義した既知の 1 組の関数（すなわち較正モデル）を生成する方法に関するものである。

【0002】

本発明はまた、リソグラフィ投影装置でそのような較正技術を使用することに関するものであり、このリソグラフィ投影装置は一般に、放射線の投影ビームを供給するための放射線システムと、所望のパターンに従って投影ビームをパターン形成するように使用されるパターン形成手段（例えばマスク）を支持するための支持構造と、基板を保持するための基板テーブルと、パターン形成されたビームを基板のターゲット部分に投影するための投影システムとを有している。

30

【0003】

【従来の技術】

リソグラフィ装置は、例えば、集積回路（IC）の製造に使用することができる。そのような場合に、マスクは、IC の個々の層に対応する回路パターンを含むことができる。このパターンの像（イメージ）が、放射線感光材料（レジスト）の層で覆われた基板（シリコン・ウェーハ）上のターゲット部分（例えば、1 つまたは複数のチップ（ダイ）で構成される）に形成される。一般に、単一のウェーハが、一度に 1 つずつ投影システムによって連続的に照射される隣接ターゲット部分の回路網全体を含んでいる。1 つの形式のリソグラフィ投影装置では、全マスク・パターンを一括してターゲット部分に露光させることで、各ターゲット部分が照射される。そのような装置は、通常、ウェーハ・ステッパと呼ばれる。ステップ・アンド・スキャン装置と通常呼ばれる他の装置では、投影ビーム下でマスク・パターンを所与の基準方向（「スキャン」方向）に漸進的に走査し、同時に、この方向に対して平行または反平行に基板テーブルを同期して走査することで、各ターゲット部分が照射される。一般に、投影システムは、拡大率  $M$ （一般に、 $M < 1$ ）を有するので、基板テーブルが走査される速度  $V$  は、マスク・テーブルが走査される速度の、係数  $M$  倍となる。ここで説明したようなリソグラフィ装置に関して、例えば、米国特許第 604

40

50

6792号から、より多くの情報を収集することができる。この特許を、参照により本明細書に組み込む。

【0004】

リソグラフィ投影装置を使用する製造プロセスでは、放射線感光材料(レジスト)の層で少なくとも部分的に覆われた基板に、マスク・パターンの像が作られる。この像形成ステップの前に、基板は、下塗り、レジスト被覆、およびソフト・ベークのような様々な手順を経ていてもよい。露光後に、基板は、露光後ベーク(PEB)、現像、ハード・ベーク、および形成された像フィーチャの測定/検査のような他の手順を受けることができる。この一連の処置は、デバイスの個々の層、例えばICをパターン形成する基礎として使用される。次に、そのようなパターンが形成された層は、エッチング、イオン打込み(ドーピング)、メタライゼーション、酸化、化学的機械研磨などのような、全て個々の層を仕上げるために意図された、様々なプロセスを経ることができる。いくつかの層が必要な場合には、この全手順またはその変形が、新しい層ごとに繰り返さなければならない。最終的に、デバイスの配列が基板(ウェーハ)上に存在するようになる。次に、ダイシングまたはソーイングのような方法で、これらのデバイスを互いに分離し、それから、個々のデバイスを、ピンなどに接続されたキャリアに取り付けることができる。そのようなプロセスに関するより多くの情報は、例えば、「Microchip Fabrication: A Practical Guide to Semiconductor Processing(マイクロチップの製造: 半導体処理への実用的入門書)」、第3版、Peter van Zant(ピーター・ヴァン・ツェント)、マグローヒル出版、1997、ISBN 0-07-067250-4から得ることができる。この本を参照により本明細書に組み込む。

10

20

【0005】

簡単にするために、投影システムを以下で「レンズ」と呼ぶことがある。しかし、この用語は、例えば、屈折光学システム、反射光学システム、および反射屈折光学システムなどの様々な種類の投影システムを包含するものとして広く解釈すべきである。また、放射線システムは、これらの設計方式のいずれかに従って動作して放射線の投影ビームを方向付け、整形し、または制御する構成部品を含むことができる。さらに、そのような構成部品もまた、以下では一括してまたは単独で、「レンズ」と呼ぶことがある。さらに、リソグラフィ装置は、2つ以上の基板テーブル(および/または2つ以上のマスク・テーブル)を有する形式のものであることがある。そのような「マルチ・ステージ」装置では、追加のテーブルが、並列に使用されることがあり、または、1つまたは複数の他のテーブルを露光に使用しながら、1つまたは複数のテーブルで準備ステップが行われることがある。ツイン・ステージ・リソグラフィ装置が、例えば、米国特許第5969441号および国際公開WO98/40791に記載されている。これらを参照により本明細書に組み込む。

30

【0006】

上述したフォトリソグラフィ・マスクは、シリコン・ウェーハ上に集積された回路構成部品に対応する幾何形状パターンを有している。そのようなマスクを作成するために使用されるパターンは、CAD(コンピュータ援用設計)プログラムを利用して生成され、このプロセスはしばしばEDA(電子設計自動化)と呼ばれる。ほとんどのCADプログラムが、機能的なマスクを作成するために1組の所定の設計規則に従う。これらの規則は、処理制限および設計制限によって設定される。例えば、設計規則は、回路デバイスまたはラインが望ましくない形で互いに相互作用しないようにするために、回路デバイス(ゲート、コンデンサなど)または相互接続ライン間の空間公差を定義している。設計規則制限は通常、「クリティカル・ディメンション」(CD)と呼ばれる。回路のクリティカル・ディメンションは、ラインの最小幅または2つのライン間の最小空間として定義することができる。したがって、CDは、設計される回路の全体サイズおよび密度を決定する。

40

【0007】

当然、集積回路製造の目標の1つは、(マスクによって)ウェーハ上に元の回路設計を忠

50

実に再現することである。別の目標は、半導体ウェーハ表面積をできるだけ大きく使用することである。しかし、集積回路のサイズが縮小し、その密度が増大すると、対応するマスク・パターンのCDが露光ツールの分解能限界に近づく。露光ツールの分解能は、露光ツールがウェーハ上で繰り返して露光することができる最小フィーチャとして定義される。この露光機器の分解能値は、しばしば、多くの最新式IC回路設計に対するCDに制約を加える。

**【0008】**

回路レイアウトのクリティカル・ディメンションがより小さくなり、露光ツールの分解能値に近づくにつれて、マスク・パターンと、フォトレジスト層上に現像される実際の回路パターンとの対応関係が大幅に弱まる可能性がある。マスクと実際の回路パターンとの差の度合および量は、回路フィーチャの互いの近接度合いによる。したがって、パターン転写の問題は「近接効果」と呼ばれる。

10

**【0009】**

近接効果の重要な問題を克服するのに助けるために、いくつかの技法を使用して、マスク・パターンにサブ・リソグラフィ・フィーチャが付け加えられる。サブ・リソグラフィ・フィーチャは、露光ツールの分解能未満の寸法を有し、したがってフォトレジスト層に転写されない。その代わりに、サブ・リソグラフィ・フィーチャは、元のマスク・パターンと相互作用して近接効果を補償し、それにより最終的な転写回路パターンを改良する。

**【0010】**

そのようなサブ・リソグラフィ・フィーチャの例は、(参照により本明細書に組み込む)米国特許第5821014号に開示されるものなどスキッターリング・バーおよびアンチ・スキッターリング・バーであり、これは、近接効果によって生じるマスク・パターン内のフィーチャ間のばらつきを低減するためにマスク・パターンに付け加えられる。より具体的には、分解能以下の補助フィーチャ、またはスキッターリング・バーは、光近接効果を補正する手段として使用され、プロセス・ウィンドウ全体を増大するのに効果的であることが示されている(すなわち、フィーチャが隣接フィーチャに対して離隔されているか稠密になっているかに関わらず、印刷フィーチャが常に指定のCDを有することができる)。'014特許に記載されているように、一般に、光近接補正は、あまり高密度でないか、または離隔されたフィーチャに関する焦点深度を、これらのフィーチャ付近にスキッターリング・バーを配置することによって改善することにより得られる。スキッターリング・バーは、(離隔されたか、またはあまり高密度でないフィーチャの)有効パターン密度をより高い密度に変更するよう機能し、それにより離隔されたか、またはあまり高密度でないフィーチャの印刷に関連する望ましくない近接効果を打ち消す。しかし、スキッターリング・バー自体がウェーハ上に印刷されないことは重要である。

20

30

**【0011】**

SBを挿入する余地がない中間ピッチ・フィーチャのピッチに関して、光近接補正(OPC)の典型的な方法は、印刷されるフィーチャ幅が意図した幅により近づくようにフィーチャ・エッジを調節する(またはバイアスをつける)ことである。光近接効果を最小限に抑えるのに効果的になるように分解能以下フィーチャおよび/またはフィーチャ・バイアスを使用するために、マスク設計および印刷プロセスに関するかなりの知識量、およびかなりの経験を有する操作者が、所望の目標が得られる場合には、分解能以下フィーチャを含むようにマスク設計を修正し、かつ/またはフィーチャ・エッジを調節する(バイアスをつける)必要がある。実際、熟練した操作者がこの作業を行うときでさえ、しばしば、所望の補正を得られるように分解能以下フィーチャを適切に位置決めするために「試行錯誤」のプロセスを行う必要がある。繰り返しのマスク再変更と、それに続く繰り返しのシミュレーションに関わる場合があるこの試行錯誤プロセスは、時間がかかり、かつコストのかかるプロセスになる可能性がある。

40

**【0012】**

光近接効果(OPE)を補正する別の知られている方法は、OPEを補償するように印刷プロセスを「較正」する試みに関するものである。現在知られている技法は、いわゆる較

50

正パラメータをOPCモデルに「相関」させることを含み、これには、様々なフィーチャ部分で1組の詳細なSEM CD測定を行う必要がある。実際のフィーチャ形状に関係なく、これらは1D幅測定である。測定データを多く収集すればそれだけ、較正パラメータの精度が良くなる。しかし、信頼可能なモデル・パラメータ較正には、様々な周囲環境下で、様々なクリティカルなフィーチャ部分で数百以上のCD測定が必要であることは珍しいことではない。これらは、労働集約型であり、時間のかかる作業である。さらに悪いことに、測定CDの取り方が、その経験レベルのために操作者に依存することが多く、これは明らかにパラメータ較正に悪影響を与える場合があり、それにより技法の効果全体を制限する。

**【0013】**

したがって、所与の結像システムの印刷性能を定義する1組のパラメータ（または較正因子）を生成し、それによりそのパラメータを利用して、上述した「試行錯誤」マスク修正プロセスを操作者が実施する必要なく所与の結像システムに関連する光近接効果を自動的に補正し、および/または最小限に抑えることができるようにする方法が求められている。さらに、一貫性のある結果のために操作者への依存を最小限に抑えて実際の2Dウェーハ・パターンに基づく1組の精密モデル・パラメータを生成するために、自動較正および最適化プロセスを有する必要がある。

**【0014】****【発明が解決しようとする課題】**

前述の必要性を解決するために、本発明の目的は、所与の結像システムの印刷性能を定義する印刷2Dウェーハ・パターンを使用して1組の最適化パラメータ（または較正因子）を生成する、自動化された方法を提供することであり、それにより、そのパラメータを利用して、「試行錯誤の」マスク修正プロセスを操作者が実施する必要なく、または上述したように非常に労働集約型のプロセスであるかなりの量の1D SEM CDデータの収集を行う必要なく、所与の結像システムに関連する光近接効果を自動的に補正し、かつ/または最小限に抑えることができるようにすることである。

**【0015】****【課題を解決するための手段】**

より具体的には、本発明の方法は、結像システムを利用してマスク内に形成されたパターンを基板上に光学的に転写するフォトリソグラフィ・マスクの生成に関するものである。この方法は、(a)所定のデータ・フォーマットで表される1組の較正パターンを定義するステップと、(b)所与の結像システムを利用して基板上に較正パターンを印刷するステップと、(c)基板上に結像された較正パターンから第1の組の輪郭パターンを決定するステップと、(d)結像システムのイメージング性能（結像性能）をより正確に表すことができるシステム擬似強度関数（SPIF）を生成するステップと、(e)較正パターン（設計データに関する）がどのように基板内に結像されるかを定義するためにシステム擬似強度関数を用いて第2の組の輪郭パターンを決定するステップと、(f)第1の組の輪郭パターンと第2の組の輪郭パターンを比較して、それらの差を求めるステップと、(g)第1の組の輪郭パターンと第2の組の輪郭パターンの差が所定の基準を下回るまでシステム擬似強度関数または実際の関数自体のパラメータを調節するステップと、(h)調節したシステム擬似強度関数を利用して、光近接補正を提供するようにマスクを修正するステップとを含む。

**【0016】**

以下でさらに詳細に説明するように、本発明は、従来技術に勝る大きな利点を提供する。例えば、SPIFモデル較正および最適化に関して印刷済みウェーハ・パターンの自動抽出2D輪郭を使用することによって、対象の実際のウェーハ・フィーチャをより現実的に表すことができる。さらに、システム擬似強度関数を利用することによって所与の結像システムのイメージング性能を正確にモデル化することにより、光近接効果、およびイメージング性能を劣化させる他の因子を補償するマスク設計の調節を自動的に行うことができる。重要なことに、本発明の方法は、画像プロセスに非常に熟練した人が光近接効果を補

10

20

30

40

50



正する「試行錯誤の」アプローチを行う必要、あるいは典型的に利用される1D SEM CDデータ測定の労働集約的な収集を人が行う必要をなくする。したがって、本発明は、実行可能なマスク設計を生成するのに必要な時間およびコストを大幅に節約する。さらに、較正および最適化のための入力として実際の2Dパターン輪郭を利用することによって、本発明は、実際のウェーハ・パターンを記述するためにかなり「豊かな」データ情報を利用し、したがってより正確なモデル・パラメータ結果を得る。

【0017】

本発明の追加の利点は、本発明の例示実施形態の以下の詳細な説明から当業者に明らかになる。

【0018】

この明細書では、ICの製造で本発明を使用することを特に参照するかもしれないが、本発明は他の多くの可能な用途を有することは明確に理解すべきである。例えば、フォトマスク・パターン形成較正およびフォトレジスト・モデリング、ウェーハ・エッチング・パターン・モデリング、ならびに一般に、集積光システム、磁気ドメイン・メモリの誘導および検出パターン、液晶表示パネル、薄膜磁気ヘッドなど2Dパターン較正の用途で使用することができる。当業者は理解するであろうが、そのような他の用途の環境では、この明細書での用語「レチクル」、「ウェーハ」または「チップ(ダイ)」の使用は、より一般的な用語「マスク」、「基板」および「ターゲット部分」でそれぞれ置き換えられるものとして考えるべきである。

【0019】

本文献において、用語「放射線」および「ビーム」は、紫外放射線(波長が、365、248、193、157または126nmである)およびEUV(極紫外放射線、例えば、波長が5~20nmの範囲にある)を含んだ、全ての種類の電磁放射線を包含するように使用されている。

【0020】

ここで使用されるような「マスク」という用語は、基板のターゲット部分に作成すべきパターンに対応するパターン形成された断面を、入射放射線ビームに与えるために使用することができるパターン形成手段を称するものとして、広く解釈すべきである。また、用語「光弁」も、この文脈で使用することができる。従来のマスク(透過型または反射型、2進、位相シフト、混成など)に加えて、他のパターン較正目的の例としては、次のものが含まれる。

(1) プログラム可能ミラー・アレイ。そのようなデバイスの一例は、粘弾性制御層および反射表面を有するマトリックス・アドレス指定可能表面である。そのような装置の基本原理は、(例えば)反射表面のアドレス指定された領域は入射光を回折光として反射するが、アドレス指定されていない領域は入射光を非回折光として反射する。適切なフィルタを使用して、前記の非回折光を、反射ビームからフィルタ除去して、後に回折光だけを残すことができる。このようにして、マトリックス・アドレス指定可能表面のアドレス指定パターンに従って、ビームはパターン付けされる。必要なマトリックス・アドレス指定は、適当な電子的な手段を使用して行うことができる。そのようなミラー・アレイについて、例えば、米国特許第5296891号および米国特許第5523193号からより多くの情報を収集することができる。これらの特許を、参照により本明細書に組み込む。

(2) プログラム可能LCDアレイ。そのような構造の一例は、米国特許第5229872号に与えられている。この特許を、参照により本明細書に組み込む。

【0021】

本発明自体、およびさらに他の目的および利点は、以下の詳細な説明および添付概略図面を参照することによって、より良く理解されるであろう。

【0022】

【発明の実施の形態】

本発明によれば、所与の結像システムの印刷性能を定義する1組の性能パラメータ(すなわち較正モデル)を決定することによって結像システムを較正する方法が開示される。性

10

20

30

40

50

性能パラメータは、典型的なマスク設計で印刷することができる複数のタイプのフィーチャ（例えば高密度フィーチャ、半離隔フィーチャ、離隔フィーチャ、ラインエンド、エルボなど）に関して決定される。以下でより詳細に説明するように、この性能パラメータは、所望のフィーチャがウェーハ上に正確に印刷されるために（すなわち、マスクによって形成される、結果として得られるレジスト・パターンが所望のフィーチャに正確に対応するために）マスクがどのように修正されるべきかを決定するのに用いられる。

【0023】

性能パラメータ（または較正モデル）が十分な数のフィーチャに関して決定された後、その性能パラメータは、任意のマスク設計で利用される他のタイプのフィーチャに対する同じプロセス条件下でのフォトレジスト印刷中に（またはエッチング後に）生じる光近接誤差を補償するために利用される。1つのそのようなイメージング・モデルは、以下に示すようにシステム擬似強度関数、すなわちSPIFとして表すことができる。

【数1】

$$SPIF(x, y) = \sum_{i=1}^n a_i |M(x, y) * \Psi_i(x, y)|^2$$

ここで、

$a_i$  は、較正および最適化される重み付け係数であり、

$M(x, y)$  はマスク透過関数であり、

$\Psi_i(x, y)$  は、光結像システムを表すために選択された基本関数、例えば理論的な光学システムの固有関数の組であり、

$x, y$  はウェーハ・パターンの位置であり、

$*$  は重畳演算子である。

【0024】

所与の設計パターンがどのように印刷されるかを予測するためにSPIFを利用することによって、所望の（「ターゲット」）パターンを印刷するように設計を最適化することができる。このタイプの最適化プロセスでは、例えばLevenberg-Marquardtなどよく確立された最適化方法を使用することができる。すなわち、性能パラメータが、印刷されるフィーチャに関するマスク・データの事前補正を可能にし、それによりウェーハ上に印刷される、結果として得られるマスク・パターンが、所望のパターンにより近いものになる。したがって、較正モデル（すなわち性能パラメータ）を生成することに関わる本発明の方法は、マスク・パターンのための、自動モデルベースの光近接補正（OPC）を可能にする。OPCされたマスク・パターンの所期の性能を検証するために本発明の方法を適用することもできることに留意されたい。

【0025】

以下に、本発明の最適化ループに関する典型的なプロセスの流れを要約する。

1. 「SPIF予測」プロセス

a. 連続しきい値SPIFを計算する。

b. 上述したしきい値（すなわち典型的なしきい値設定として、 $> 1$ ）領域付近で多角形輪郭を描く。

2. 「OPC」プロセス

a. 「SPIF予測」を行う。

b. 結果を所望のものと比較する。

c. 受け入れることができる場合、最適化が行われる。

d. 受け入れることができない場合、誤差の反対方向に設計エッジを調節する。

【0026】

図1は、本発明の較正方法の例示的な実施形態を示す流れ図である。以下、本発明の例示的な方法を説明する。

【0027】

10

20

30

40

50

このプロセスでの第1のステップ(ステップ1)は、較正パターンと呼ばれるパターンの組を設計する(すなわち決定する)ことに関するものであり、このパターンは、例えば高密度ライン/空間パターン、半離隔ライン/空間パターン、および離隔ライン/空間パターンを含む、しかしそれらに限定されない、ウェーハ上に印刷される実際のフィーチャを表すものである。好ましくは、パターンはターン(旋回部分)やエルボなどを含む。さらに、一般に、得られた較正パターンが多ければ多いほど、本発明の方法が、印刷されるウェーハでのOPEをより正確に補正することができることに留意されたい。例えば、1つの実施形態では、多数の半高密度のライン/空間パターンおよび離隔ライン/空間パターンと共に、全てを高密度と考えることができる多数のライン/空間パターンが決定される。以下でより詳細に説明するように、収集または決定された較正パターンが多ければ多いほど、この方法は、マスク内に含まれる実際のフィーチャを補正するときに、既知の較正パターン間での補間の必要が少ない。すなわち、得られる較正パターンが多ければ多いほど、印刷される実際のフィーチャが、より密接に所定の較正パターンに対応している(すなわち合致している)。本発明の一実施形態では、較正パターンが多角形状によって表されることに留意されたい。多角形は、通常は1組の(X, Y)頂点によって記述される多辺2D形状である。GDSII Stream(商標)は、IC設計データに関して2D多角形状を表すための、半導体業界で一般に使用されている1つのデータ・フォーマットである。しかし、マスク設計を表すことができる任意の他の適切なデータ・フォーマットを利用してもよい。

10

**【0028】**

20

このプロセスでのステップ2は、ステップ1で定義した較正パターンに対応するマスクを形成すること、およびマスク内に形成される較正パターンをウェーハ上に印刷することに関するものである。商用半導体デバイスの製造で利用されるのと全く同じプロセスおよびステップを利用して較正パターンを印刷すべきであり、それに対して較正プロセスが行われていることに留意されたい。

**【0029】**

較正パターンがウェーハ上に印刷された後、次のステップ(ステップ3)は、レジスト・パターン形成を用いて処理されたシリコン・ウェーハ上に形成された較正パターンを撮像し測定することに関するものである。撮像は、例えばSEM(走査電子顕微鏡)デバイスを利用して達成することができる。測定は、例えばトップダウンSEMまたは断面CD(クリティカル・ディメンション)SEMで行うことができることに留意されたい。この実施形態では、トップダウンSEMCDを利用し、測定すべき較正パターンごとに、対応するSEM画像を有していることが好ましい。さらに、最高の較正性能のために、十分な倍率のSEM画像を有することが好ましいことに留意されたい。例えば、130nm以下の設計規則では、好ましいSEM画像倍率が70KXよりも大きい。そのような高倍率下では、対象の主要パターンが視野全体を簡単に占有する場合があります、これは通常、位置合わせおよび倍率変更の目的でSEM画像の一部として位置合わせマークを提供するための追加の余地を有する可能性は少ない。したがって、以下に説明するように、この新規の最適化スキームの一部として画像回転と倍率変更の両方が含まれることが好ましい。

30

**【0030】**

40

図2A、図3A、および図4Aは、それぞれウェーハ上に結像された、結果として得られた高密度、半離隔、および離隔ライン/空間パターンのSEM画像を示す。結果として得られたSEM輪郭12が、(理想的な撮像プロセスを表す)元の多角形設計データ上に重ね合わされ、それにより所望のパターン(多角形データによって定義される)と、撮像プロセスによって印刷された実際のパターン(SEM画像によって定義される)との比較を可能にすることに留意されたい。例えば図2Aを参照すると、結果として得られるパターンの、結果として得られるSEM画像は、例えば光近接効果により、完全でないことがわかる。1つの問題はラインの短縮化であり、これは、SEM画像のラインの端部と、多角形データによって決定されるライン端部の理想的な位置との差によって示される(参照番号14が、ライン短縮によって生じるギャップを表す)。図3Aおよび図4Aは、それぞ

50

れのパターンでの同様の欠陥を例示する。

【0031】

再び図1に戻ると、ステップ4で、結果として得られたSEM画像がデジタル画像処理を受け、しきい値を取られて、2次元フォトレジスト輪郭を抽出する。滑らかな輪郭が多辺多角形によって近似される。すなわち、システムによって結像されたパターンを定義する、ウェーハ上に残っているレジスト・パターンの外形が識別され、デジタル処理される。

【0032】

次のステップ(ステップ5)で、ステップ4で得られた2Dフォトレジスト輪郭が、多角形フォーマット、またはGDSII Stream(商標)など任意の他の適切なフォーマットに変換される(またはそれによって近似される)。利用されるデータ・フォーマットは、校正パターンを表すためにステップ1で利用したのと同じものにすべきであることに留意されたい。SEM画像が、ウェーハ上に実際に印刷された校正パターンの結果を表すことは明らかである。したがって、SEM画像と校正パターンの差が、その結像システムおよび印刷プロセスに固有の「誤差」を表す。

【0033】

以下に説明するように、多角形データ・フォーマットへの2Dフォトレジスト輪郭の変換は、レジスト印刷(またはパターン・エッチング後の)性能を、結像システムの性能を表すモデル関数と直接比較することができるようにする。ステップ4で得られた実際の画像を利用してモデル関数を「調整」し、この関数が結像システムの印刷性能を正確に表すようにする。これにより、この関数を利用してマスク設計を自動的に修正することができるようになり、その結果、結像システムの元の多角形設計データの印刷性能の不足が補償される。すなわち、この関数を利用して光近接補正を提供することができる。

【0034】

輪郭抽出後、はじめに、SEM画像が元のマスク・データ・パターンとほぼ重ね合わされる。X方向とY方向の両方で位置オフセットが存在すると考えられる。元の設計とSEM画像との所定の(1つまたは複数の)基準点(例えば、所望の正方形フィーチャの中心)を比較することによって、印刷プロセスが、印刷されるフィーチャの移動、回転、および/または倍率変更を生じたかどうか判定することができる。比較用の基準点として、任意の適切な(1つまたは複数の)基準点(例えばフィーチャの中心、フィーチャの所与のエッジまたはコーナなど)を利用することができることに留意されたい。本発明のプロセスは、 $\alpha$ と位置オフセット(例えば移動および回転)の両方に関する同時最適化を可能にする。同様に、この最適化は、最適化ループ中にSEM倍率変更因子を調節することができる。これは、以下の行列操作に見られるように表すことができる。

【数2】

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix}$$

ここで、

AはX倍率変更因子であり、DはY倍率変更因子であり、  
CはSEM画像の回転であり、DはSEM画像のスキューであり、  
XおよびYは初期位置を表し、X'およびY'は新たな位置を表す。

A、B、C、およびDは、1つの最適化ループで個別に最適化されるが同じ組のSEM画像についてA、B、C、およびDは一定であると仮定することに留意することが重要である。これは、SEMが十分に安定を保ち、SEM画像が常に1つの操作セッションで生成されるので、実用的な仮定である。

【0035】

次に、ステップ6で、1組のシステム擬似強度関数(SPIF)が生成される。SPIFは、2Dスカラー関数としてイメージングとレジスト・システムの合成応答を表すように意

10

20

30

40

50

図された関数であり、それにより、印刷されたレジスト輪郭の近似を、所定のしきい値で S P I F をサンプリングすることによって得ることができる。これは、連続的に変化する S P I F を、S P I F がしきい値よりも大きい場合の「1」と、その他の場合の「0」との離散関数に変換することを意味する。選択されるしきい値は任意のものである。最適化 S P I F は、所与のしきい値に関して最適化される。したがって、S P I F が所与の結像システムおよびプロセスに関して定義された後、所与のパターンがウェーハ上にどのように印刷されるかを近似することができる。S P I F は、結像システムごと、およびプロセスごとに異なることに留意されたい。設定された S P I F に対応付けられた重み付け係数 (  $w_i$  ) を最適化する必要がある。(ウェーハ・パターン輪郭と重ね合わされている) しきい値 S P I F パターンに関しては図 2 および図 3 を参照されたい。

10

**【0036】**

ステップ 7 で、S P I F と、ステップ 6 で生成された対応する重み付け係数とが、ステップ 1 で得られた P O L Y G O N (多角形) 設計データと共に利用されて、ステップ 1 で定義された較正パターンを印刷することにより生じるレジスト・パターン輪郭の近似を生成する。ここでも、S P I F が、結像システムの挙動の近似を表すことに留意されたい。したがって、ステップ 1 の較正パターンに S P I F を適用することによって、結像システムの動作、および結果として得られるレジスト輪郭パターンを近似することができる。ステップ 7 で生成されるレジスト輪郭パターンの近似は、ステップ 1 で較正パターンを生成するために利用され、かつステップ 5 で実際の輪郭パターンを表示するために利用されたのと同じデータ・フォーマットで生成することが好ましく、この例では多角形フォーマット

20

**【0037】**

S P I F を利用してレジスト輪郭パターンが近似された(ステップ 7)後、次のステップ(ステップ 8)は、近似された輪郭パターンを、所与の結像システムを利用して較正パターンを実際に印刷することによって生成された輪郭パターンと比較することに関するものである。より具体的には、(S P I F を利用して生成される)予測パターン輪郭が、対応する S E M 画像から抽出された輪郭パターンと比較される。次いで、設定された S P I F

30

**【0038】**

より具体的には、ステップ 8 での比較が完了した後、プロセスがステップ 9 に進み、S P I F 生成輪郭パターンが S E M 輪郭パターンに十分に近い(すなわち合致する)か否か判定する。輪郭パターンが互いに十分に合致するか否かを判定するための基準には、例えば、(1)モデル(S P I F 生成)と実験輪郭(S E M)の重なり領域の誤差、(2)選択された点での、または全ての輪郭点での輪郭間距離(絶対または符号付き)、および(3)2つの輪郭間距離の平方和が含まれるが、しかしそれらに限定されない。コスト関数と呼ばれるこれらの基準は、適合処置の過程で最小限に抑えられる。基準が選択されると、関連する値が決定され、これは次いでステップ 9 で決定因子として利用される。ステップ 9 のプロセスは、印刷されたフィーチャの位置オフセットおよび倍率変更が受入可能な事前定義基準よりも低いことを検証するための基準を含むことに留意されたい。

40

**【0039】**

S P I F 生成輪郭パターンと S E M 輪郭パターンの誤差が大きすぎる場合(すなわち、ステップ 9 の基準が満足されない場合)、プロセスはステップ 10 に進み、結果として得られる S P I F 輪郭パターンが、形状と位置の両方でより密接に S E M 輪郭パターンに対応

50

するように S P I F 係数、位置オフセット、倍率変更、および/またはスキュー因子が修正される(「O P C プロセス」参照)。次いで、プロセスがステップ 7 に戻り、それにより、更新された前述の変数に基づいた輪郭パターンを再生成する。その後、ステップ 8 および 9 が再び繰り返される。

**【 0 0 4 0 】**

ステップ 7 ~ 1 0 によって形成されるループの複数回の反復の後、S P I F 生成輪郭パターンと S E M 輪郭パターンの誤差が大きすぎるままである場合、プロセスはステップ 1 0 A に進む。ステップ 1 0 A で、プロセスは、新たな S P I F 関数を選択/構成するようになり、かつ/または S P I F 関数を定式化するために利用される基本関数の数「n」を増大する。次いで、プロセスがステップ 6 に戻り、新たな/修正された S P I F 関数を利用して、上述した形で進む。

10

**【 0 0 4 1 】**

前述のことから明らかなように、S P I F 重み付け係数および位置オフセットの調節で所定の最小値を下回る誤差を生成することができない場合、プロセスがステップ 1 0 A に進む。ステップ 1 0 A に進む可能性がある時の決定は、例えば、実施すべきステップ 7 ~ 1 0 のループの設定反復回数を定義することによって決定することができ、反復回数が完了する前に受入可能な結果が得られない場合にはプロセスがステップ 1 0 A に進むことに留意されたい。別法として、ステップ 1 0 A に進む時を決定するために、演算子介入を利用することができる。

**【 0 0 4 2 】**

S P I F 生成輪郭パターンと S E M 輪郭パターンが十分似ている(すなわちステップ 9 の基準が満足される)場合、S P I F および重み付け係数が記録される(ステップ 1 1 )。この S P I F および対応する重み付け係数が、機能データ・フォーマットで所与の結像システムの実際の印刷性能を表すことに留意されたい。すなわち、S P I F および重み付け係数がイメージング性能のモデルを表す。したがって、これを利用して、普通であれば印刷性能全体を低下させる様々な光近接効果を予測することができ、したがって補償が可能となる。

20

**【 0 0 4 3 】**

ステップ 1 1 を参照すると、十分な数の S E M 画像が同じモデル・パラメータに適合(すなわち合致)するまで前述のプロセスが繰り返されることに留意されたい。実際に、同じ露光設定下で最適な C D 制御を達成することができるように全ての設計パターンが同じ O P C プロセスを通らなければならないので、これは重要である。好ましくは、S P I F 生成輪郭と比較される S E M 画像の数は、所与の半導体チップ・マスク設計で生じることが予測される全ての可能なパターンに及ぶのに十分な数である。最適化ループを通った全てのフィーチャ・ピッチ範囲およびあらゆるフィーチャ・タイプに関して、同じ  $\sigma$  が期待される。 $\sigma$  が満足されない場合、すなわち、モデル性能が、事前定義公差よりも大きい結果として得られる誤差を有する(一例として、予測される C D 誤差がターゲット C D の 4 % よりも大きい)場合、最適化ループが「n」を増大し、または異なる形の  $\sigma$  に変更し、ステップ # 1 から再スタートすることができるようになるべきである。

30

**【 0 0 4 4 】**

上述したプロセスはモデル・トレーニングと呼ばれる。対応付けられた重み付け係数を有して設定される同じ S P I F 関数を、様々なピッチ、フィーチャ・タイプ、フィーチャ・サイズ、および向きなどを有する多数のマスク幾何形状に適合するのに十分なものに行うことができる。レジスト輪郭を予測するためのこの経験的モデルが適切に訓練された(ステップ 1 1 )後、これが、同様のマスク・パターンに関する予測を行うために採用される(「O P C プロセス」参照)。例えば、モデルベースの光近接補正を行うためにマスク・データを処理するアルゴリズムにこれを使用することができる。例えば、あるターゲット形状、例えば元のマスク外形を仮定すると、アルゴリズムは、マスク・データのエッジを移動して、訓練されたモデルによって予測されるレジスト輪郭とターゲットとの誤差を低減する。印刷フィーチャのサイズが露光波長に匹敵するか、あるいはそれよりも小さいの

40

50

で、モデルベースのOPCは特に重要な方法になる。

【0045】

前述の方法によって得ることができる結果の一例が、図2B、図2C、図3B、図3C、図4B、および図4Cに記載されている。より具体的には、前述の方法を使用して、対応する重み付け係数を有する1組のSPIFを、図2A、図3A、および図4Aに示されるSEM画像の3つのケースに適合するように利用した。ここで図2Aは、補正されていない高密度ライン：空間パターンを示す（すなわち約1：1のライン：空間で130nmのライン）。図3Aは、補正されていない半離隔ライン：空間パターンを示す（すなわち約1：3.3のライン：空間で130nmのライン）。図4Aは、補正されていない離隔ライン：空間パターンを示す（すなわち約1：8.8のライン：空間で130nmのライン）。図2B、図3B、および図4Bは、第1の組のSPIFおよび対応する重み付け係数を利用することにより得られる、それぞれ図2A、図3A、および図4Aに対応する「補正後の」パターンを示し、図2B、図3B、および図4Bは、第2の組のSPIFおよび対応する重み付け係数を利用することにより得られる、それぞれ図2A、図3A、および図4Aに対応する「補正後の」パターンを示す。一般に、図2B、図3B、および図4Bに例示される補正で利用される第1の組のSPIFは、図2C、図3C、および図4Cに例示される第2の組のSPIFを利用して得られる補正に比べて良い補正（すなわちより近い合致）を提供する。しかし、どちらの補正も、全ての「補正後の」バージョンで結果として得られる画像がより密接に所望のパターンをたどるので、非補正イメージングに勝る改良を提供する。図2A～図2Cにおけるパターン画像は、図3A～図4Cで利用されるプロット範囲に比べて小さなプロット範囲を有するため、図3A～図4Cの場合よりも大きく現れていることに留意されたい。

10

20

【0046】

したがって、本発明によれば、判定後、所与の結像システムの実際の性能を表すSPIFを利用して、マスク設計を自動的に修正（すなわち較正）することができ、それによりウェーハ上に印刷される、結果として得られる画像が、所望の画像に対して、より正確に対応する。すなわち、本発明の方法を利用して、決定されたSPIF関数に従って、印刷される様々なパターン・フィーチャを修正することによって、マスク設計でOPC技法を自動的に提供することができる。

【0047】

さらに、誤差公差を指定するための1つの例示的な基準（例えばステップ9）は、SEM（明）と予測SPIF輪郭（暗）との重なり合っていない画素を実際にカウントすることにあることに留意されたい。SEM画像から、各画素ごとに物理的な寸法を導出することができる。例えば、480×480撮像素子を有する2.0μm×2.0μmの領域では、各画素が(4.16nm)<sup>2</sup>に対応する。また、130nm技術世代では、誤差が1画素以下になることが必要であることに留意されたい。すなわち、重なり合っていない領域の幅が1画素以下でなければならない。より厳密な誤差仕様では、480×480画素に0.9μm×0.9μmを使用するなど、同じ撮像素子数をもつより小さな較正領域を使用することができる。この場合、各画素が(2nm)<sup>2</sup>を表す。

30

【0048】

本発明の方法が従来技術に勝る重要な利点を提供することに留意されたい。例えば、SPIFモデル較正および最適化に関して、印刷されたウェーハ・パターンの自動抽出2D輪郭を使用することによって、対象の実際のウェーハ・フィーチャをより現実的に表すことができる。さらに、システム擬似強度関数を利用することによって所与の結像システムのイメージング性能を正確にモデル化することにより、光近接効果、およびイメージング性能を劣化させる他の因子を補償するマスク設計の調節を自動的に行うことができる。重要なことに、本発明の方法は、画像処理に非常に熟練した人が光近接効果を補正するのに「試行錯誤」のアプローチを行う必要をなくし、かつ典型的に利用されている1D SEM CDデータ測定値の労力集約型収集を人が行う必要をなくする。したがって、本発明は、実行可能なマスク設計を生成するのに必要な時間およびコストの大幅な節約をもたらす

40

50

。さらに、較正および最適化に関する入力として実際の2Dパターン輪郭を利用することによって、本発明は、実際のウェーハ・パターンを記述するためにはるかに「豊かな」データ情報を利用し、したがって、より正確なモデル・パラメータ結果を得る。

【0049】

図5は、本発明の較正方法と共に使用するのに適したリソグラフィ投影装置を模式的に示す。本装置は、

放射線の投影ビームPBを供給するための、この特定の場合には放射線源LAも備える、放射線システムEx、ILと、

マスクMA（例えば、レチクル）を保持するためのマスク・ホルダを備えた第1の物体テーブル（マスク・テーブル）MTであって、要素PLに対してマスクを正確に位置決めするための第1の位置決め手段に接続された第1の物体テーブル（マスク・テーブル）MTと、

基板W（例えば、レジスト被覆シリコン・ウェーハ）を保持するための基板ホルダを備えた第2の物体テーブル（基板テーブル）WTであって、要素PLに対して基板を正確に位置決めするための第2の位置決め手段に接続された第2の物体テーブル（基板テーブル）WTと、

マスクMAの放射線照射部分の像を、基板Wのターゲット部分C（例えば、1つまたは複数のチップ（ダイ）で構成される）に形成するための投影システム（「レンズ」）PL（例えば、屈折、反射光学、カタディオプトリック光学システム）とを備えている。

【0050】

ここに示すように、本装置は、透過型（すなわち、透過マスクを有する）である。しかし、一般に、本装置は、例えば、反射型（反射マスクを有する）であることもある。もしくは、本装置は、マスク使用の代替方法として他の種類のパターン形成手段を使用することができ、例として、プログラム可能ミラー・アレイまたはLCDマトリックスが挙げられる。

【0051】

放射線源LA（例えば、水銀ランプまたはエキシマ・レーザ）は、放射線のビームを生成する。このビームは、直接か、または、例えばビーム拡大器Exなどのコンディショニング手段を通り抜けた後かいずれかで、照明システム（照明装置）ILに送られる。照明装置ILは、ビーム内の強度分布の外側半径範囲および/または内側半径範囲（通常、それぞれ、outer、innerと呼ばれる）を設定するための調整手段AMを備えることができる。さらに、照明装置は、一般に、積分器IN、集光器COなどの様々な他の部品を備える。このようにして、マスクMAに当たっているビームPBは、その断面内に所望の一様強度分布を持つ。

【0052】

図5に関して留意すべきことであるが、放射線源LAは、リソグラフィ投影装置のハウジング内にあることがあるが（例えば、放射線源LAが水銀ランプの場合にそうであることが多い）、また、放射線源LAがリソグラフィ投影装置から遠く離れており、その生成する放射線ビームが装置の中に導かれることもある（例えば、適当な方向付けミラーを使用して）。この後者のシナリオは、放射線源LAがエキシマ・レーザ（例えばKrF、ArF、またはF<sub>2</sub>レーザ処理に基づく）である場合に多い。本発明は、これらのシナリオの両方を含む。

【0053】

ビームPBは、その後、マスク・テーブルMTに保持されているマスクMAと交差する。マスクMAを通り抜けたビームPBは、レンズPLを通り抜ける。このレンズPLは、基板Wのターゲット部分CにビームPBを収束させる。第2の位置決め手段（および干渉測定手段IF）を使って、基板テーブルWTは、例えば、ビームPBの経路内に異なったターゲット部分Cを位置決めするように、正確に移動させることができる。同様に、第1の位置決め手段を使用して、例えば、マスク・ライブラリからマスクMAを機械的に取り出した後で、または走査中に、ビームPBの経路に対してマスクMAを正確に位置決めする

10

20

30

40

50



ことができる。一般に、物体テーブルMT、WTの移動は、長行程モジュール（粗い位置決め）と短行程モジュール（精密位置決め）を使って行われる。これらのモジュールは、図23に明示的に示さない。しかし、ウェーハ・ステッパの場合は（ステップ・アンド・スキャン・ツールと対照的に）、マスク・テーブルMTは、短行程用アクチュエータに接続されるだけでよく、または、固定されていてもよい。

#### 【0054】

図示のツールは、2つの異なるモードで使用することができる。

（1）ステップ・モードでは、マスク・テーブルMTは基本的に静止したままであり、全マスク像が一括して（すなわち、単一の「フラッシュ」で）ターゲット部分Cに投影される。次に、異なるターゲット部分CがビームPBで照射されるように、基板テーブルWTがxおよび/またはy方向に移動される。

10

（2）走査モードでは、基本的に同じシナリオが当てはまるが、ただ、特定のターゲット部分Cが単一の「フラッシュ」で露光されないことが異なる。代わりに、マスク・テーブルMTが、特定の方向（いわゆる「走査方向」、例えば、y方向）に速度vで移動可能であり、その結果、投影ビームPBはマスク像全体を走査することができるようになる。これと並行して、基板テーブルWTが、速度 $V = Mv$ で、同じ方向または反対方向に同時に移動する。ここで、MはレンズPLの拡大率である（一般に、 $M = 1/4$ または $1/5$ ）。このようにして、分解能で妥協する必要なく、比較的大きなターゲット部分Cを露光させることができる。

#### 【0055】

20

この最適化の1つの別の变形形態は、2Dフォトレジスト・シミュレーション予測と2Dエッチング・パターン予測を較正するために使用することができるものである。

#### 【0056】

本発明のいくつかの特定の实施形態を開示してきたが、本発明を、その趣旨および本質的な特徴を逸脱することなく他の形態で実施することができることに留意されたい。したがって、この实施形態は全ての点で例示的なものであり、限定するものではないと考えられ、本発明の範囲は頭記の特許請求の範囲によって示され、したがって、特許請求の範囲の等価部分の意味および範囲内にある全ての変更が本発明に含まれるものと意図される。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の較正方法の例示实施形態を示す流れ図である。

30

【図2A】較正プロセスを受けていない例示高密度フィーチャ・パターンを例示する図である。

【図2B】本発明の方法を利用して決定された第1の組の較正因子を利用して印刷された図2Aの高密度フィーチャ・パターンを例示する図である。

【図2C】本発明の方法を利用して決定された第2の組の較正因子を利用して印刷された図2Aの高密度フィーチャ・パターンを例示する図である。

【図3A】較正プロセスを受けていない例示半離隔フィーチャ・パターンを例示する図である。

【図3B】本発明の方法を利用して決定された第1の組の較正因子を利用して印刷された図3Aの半離隔フィーチャ・パターンを例示する図である。

40

【図3C】本発明の方法を利用して決定された第2の組の較正因子を利用して印刷された図3Aの半離隔フィーチャ・パターンを例示する図である。

【図4A】較正プロセスを受けていない例示離隔フィーチャ・パターンを例示する図である。

【図4B】本発明の方法を利用して決定された第1の組の較正因子を利用して印刷された図4Aの離隔フィーチャ・パターンを例示する図である。

【図4C】本発明の方法を利用して決定された第2の組の較正因子を利用して印刷された図4Aの離隔フィーチャ・パターンを例示する図である。

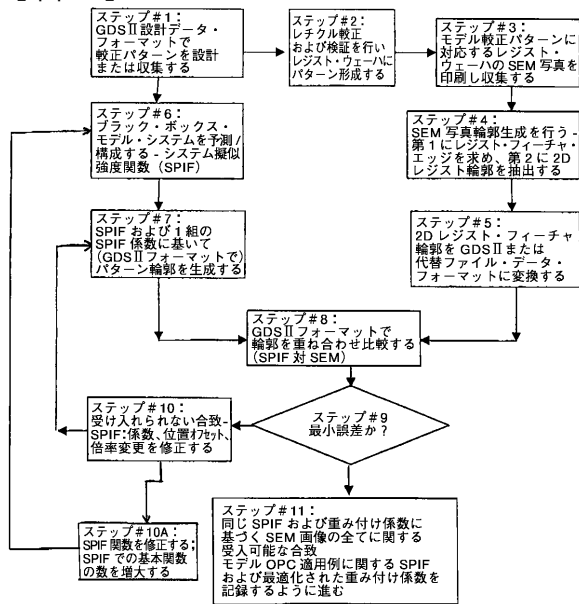
【図5】例示リソグラフィ投影装置を例示する図である。

#### 【符号の説明】

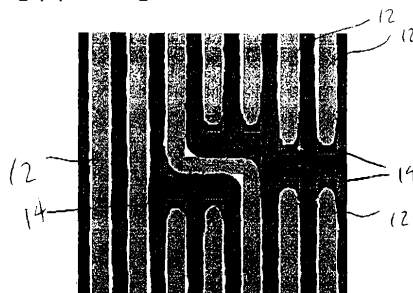
50

- L A 放射線源
- E x ビーム拡大器
- I L 照明装置
- E x、I L 放射線システム
- A M 調整手段
- I N 積分器
- C O 集光器
- P L 投影システム
- M A マスク(レチクル)
- M T 第1の物体テーブル(マスク・テーブル)
- C ターゲット部分
- P B 投影ビーム
- W 基板(ウェーハ)
- W T 第2の物体テーブル(基板テーブル)
- 1 2 SEM輪郭
- 1 4 ライン短縮によって生じるギャップ

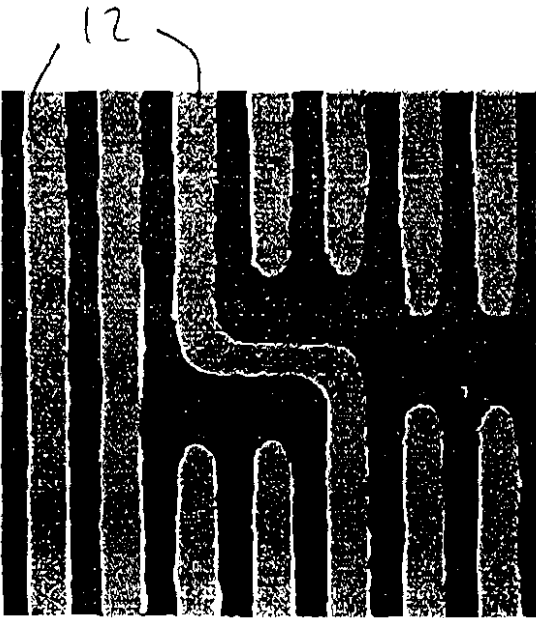
【図1】



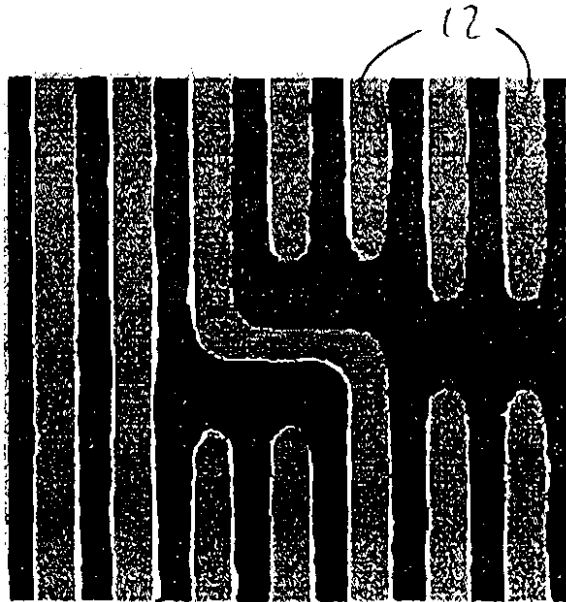
【図2A】



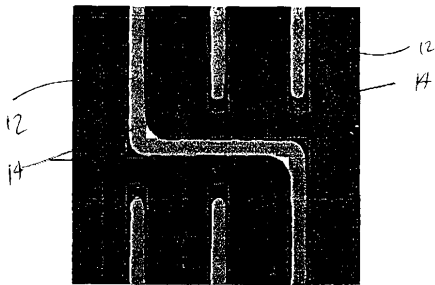
【 2 B 】



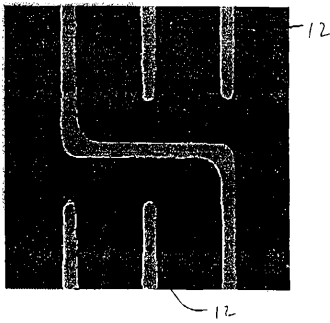
【 2 C 】



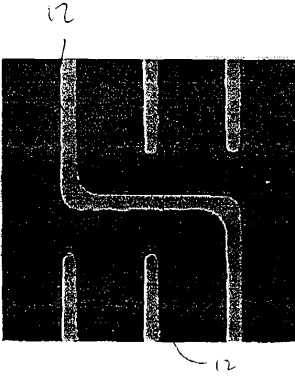
【 3 A 】



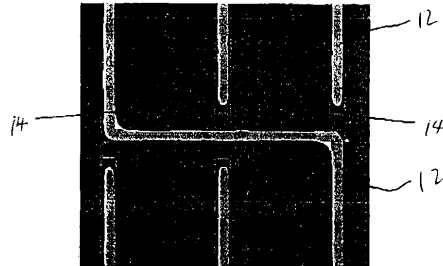
【 3 C 】



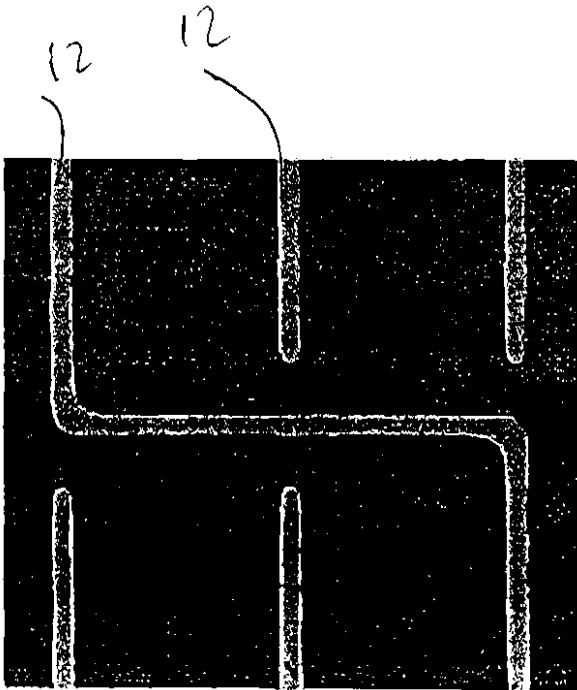
【 3 B 】



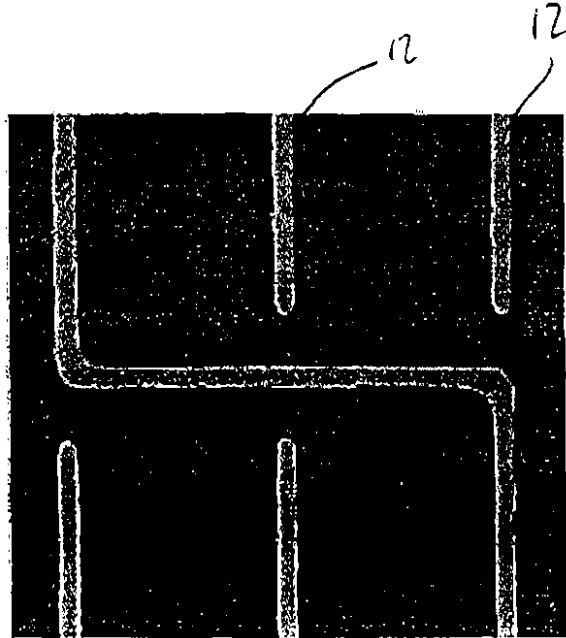
【 4 A 】



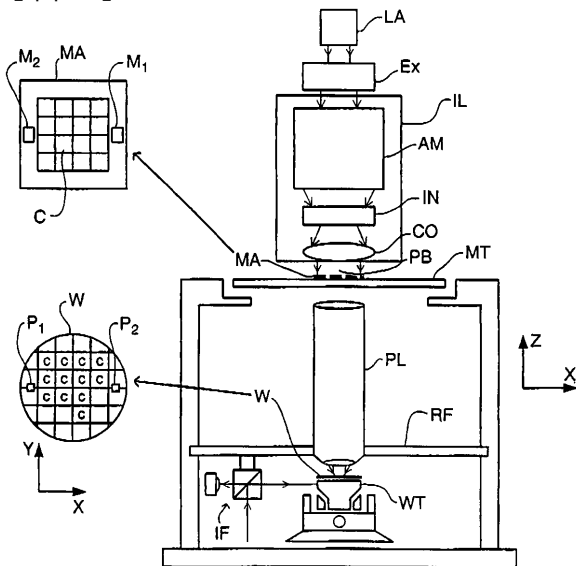
【 図 4 B 】



【 図 4 C 】



【 図 5 】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 ジェイ、ファン チェン  
追って補充致します
- (72)発明者 シュエロン シ  
追って補充致します
- (72)発明者 ラルフ シーフ  
追って補充致します
- (72)発明者 ウヴェ ホラーバツハ  
追って補充致します
- (72)発明者 カート イー、 ウォンプラー  
追って補充致します

審査官 多田 達也

- (56)参考文献 米国特許第06081659 (US, A)  
特開2000-58417 (JP, A)  
特開2000-241959 (JP, A)  
特開平11-102062 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup>, DB名)  
G03F 1/00 - 1/16  
H01L 21/027