

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6140082号  
(P6140082)

(45) 発行日 平成29年5月31日(2017.5.31)

(24) 登録日 平成29年5月12日(2017.5.12)

|               |           |        |        |         |
|---------------|-----------|--------|--------|---------|
| (51) Int.Cl.  | F 1       |        |        |         |
| HO 1 L 21/027 | (2006.01) | HO 1 L | 21/30  | 5 4 1 Q |
| GO 3 F 7/20   | (2006.01) | GO 3 F | 7/20   | 5 0 4   |
| GO 3 F 1/50   | (2012.01) | GO 3 F | 1/50   |         |
| GO 3 F 1/36   | (2012.01) | GO 3 F | 1/36   |         |
| HO 1 J 37/305 | (2006.01) | HO 1 J | 37/305 | B       |

請求項の数 15 (全 25 頁) 最終頁に続く

|               |                               |
|---------------|-------------------------------|
| (21) 出願番号     | 特願2013-556643 (P2013-556643)  |
| (86) (22) 出願日 | 平成24年2月15日(2012.2.15)         |
| (65) 公表番号     | 特表2014-512670 (P2014-512670A) |
| (43) 公表日      | 平成26年5月22日(2014.5.22)         |
| (86) 國際出願番号   | PCT/US2012/025149             |
| (87) 國際公開番号   | W02012/118616                 |
| (87) 國際公開日    | 平成24年9月7日(2012.9.7)           |
| 審査請求日         | 平成27年1月28日(2015.1.28)         |
| (31) 優先権主張番号  | 13/037, 263                   |
| (32) 優先日      | 平成23年2月28日(2011.2.28)         |
| (33) 優先権主張国   | 米国(US)                        |
| (31) 優先権主張番号  | 13/329, 315                   |
| (32) 優先日      | 平成23年12月18日(2011.12.18)       |
| (33) 優先権主張国   | 米国(US)                        |

|           |   |
|-----------|---|
| (73) 特許権者 | 509142184<br>ディー・ジー・エス・インコーポレイテッド<br>D 2 S, INC.<br>アメリカ合衆国、95117 カリフォルニア州、サン・ノゼ、ムーアパーク・アベニュー、4040、スイート・250 |
| (74) 代理人  | 110001195<br>特許業務法人深見特許事務所  |
| (72) 発明者  | 藤村 晶<br>アメリカ合衆国、95070 カリフォルニア州、サラトガ、ソーベイ・ロード、15220  |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】荷電粒子ビームリソグラフィを使用してパターンを形成するための方法およびシステム

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

フラクチャーリングまたはマスクデータ準備または近接効果補正または光学近接補正またはマスクプロセス補正のための方法であって、露光バスに対する複数の成形ビーム荷電粒子ビームショットを決定することを含み、前記複数の成形ビームショットは、荷電粒子ビームライタにおいて用いられた場合に、レジストコーティングされた表面に線量を生成し、前記レジストコーティングされた表面の前記線量は、前記レジストコーティングされた表面上にパターンを形成し、前記表面上の前記パターンは、パターン周辺部を含み、前記レジストは、レジスト閾値を有し、前記複数の成形ビームショットは、前記パターンの異なる部分に異なる線量を与え、

前記決定することは、前記複数の成形ビームショットから線量マージンを計算することを含み、前記線量マージンは、前記レジスト閾値において、前記パターン周辺部に垂直な直線方向に関する、レジスト線量の傾きであり、前記決定することは、1つ以上のコンピューティングハードウェア装置を用いて実行される、方法。

## 【請求項 2】

前記複数の成形ビームショットは、前記表面上の前記パターンの内部領域内よりも、前記表面上の前記パターン周辺部付近で高いレジスト線量ピークを生成する、請求項1に記載の方法。

## 【請求項 3】

前記計算することは、荷電粒子ビームシミュレーションを含む、請求項1に記載の方法

。

**【請求項 4】**

前記荷電粒子ビームシミュレーションは、前方散乱、後方散乱、レジスト拡散、クロトン効果、エッチング、フォギング、ローディング、およびレジスト帯電から成る群のうちの少なくとも 1 つを含む、請求項 3 に記載の方法。

**【請求項 5】**

前記線量マージンが既定の目標線量マージンよりも低い場合、前記複数の成形ビームショットを訂正し、前記線量マージンを再計算することをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 6】**

前記複数の成形ビームショットにおける各ショットは、割り当てられた線量を含み、前記複数の成形ビームショットにおける少なくとも 2 つのショットの前記割り当てられた線量は、後方散乱またはフォギングを含む長範囲効果に対する線量補正前は、互いに異なる、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 7】**

前記複数の成形ビームショットにおける各ショットは、可変成形ビーム ( VSB ) ショットである、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 8】**

荷電粒子ビームリソグラフィを使用して表面を製造するための方法であって、  
複数の露光バスに対する複数の成形ビームショットを決定することと、

20

前記表面上にパターンを形成することと、を含み、前記表面は、レジストコーティングされたものであり、荷電粒子ビームライタが、前記複数の成形ビームショットを用いて、前記レジストコーティングがなされた前記表面に線量を生成し、前記レジストコーティングされた表面上の前記線量は、前記パターンを形成し、前記表面上の前記パターンは、パターン周辺部を含み、前記レジストは、レジスト閾値を有し、

前記複数の成形ビームショットは、前記パターンの異なる部分に異なる線量を与え、前記決定することは、前記複数の成形ビームショットから線量マージンを計算することを含み、前記線量マージンは、前記レジスト閾値において、前記パターン周辺部に垂直な直線方向に関する、レジスト線量の傾きである、方法。

**【請求項 9】**

30

前記複数の成形ビームショットは、前記表面上の前記パターンの内部領域内よりも、前記表面上の前記パターン周辺部付近で高いレジスト線量ピークを生成する、請求項 8 に記載の方法。

**【請求項 10】**

前記計算することは、荷電粒子ビームシミュレーションを含む、請求項 8 に記載の方法。  
。

**【請求項 11】**

前記荷電粒子ビームシミュレーションは、前方散乱、後方散乱、レジスト拡散、クロトン効果、エッチング、フォギング、ローディング、およびレジスト帯電から成る群のうちの少なくとも 1 つを含む、請求項 10 に記載の方法。

40

**【請求項 12】**

前記複数の成形ビーム射出における各ショットは、割り当てられた線量を含み、  
前記方法は、後方散乱またはフォギングを含む長範囲効果に対する線量補正を実施することをさらに含み、

前記複数の成形ビームショットにおける少なくとも 2 つのショットの前記割り当てられた線量は、前記線量補正前は、互いに異なる、請求項 8 に記載の方法。

**【請求項 13】**

前記表面は、基板を製造するために光学的リソグラフィプロセスにおいて使用されるべきレチクルを備える、請求項 8 に記載の方法。

**【請求項 14】**

50

フラクチャリングまたはマスクデータ準備または近接効果補正または光学近接補正またはマスクプロセス補正のためのシステムであって、露光パスに対する複数の成形ビーム荷電粒子ビーム射出を決定するように構成されるデバイスを備え、前記複数の成形ビームショットは、荷電粒子ビームライタにおいて用いられた場合に、レジストコーティングされた表面に線量を生成し、前記レジストコーティングされた表面の前記線量は、前記レジストコーティングされた表面上にパターンを形成し、前記表面上の前記パターンは、パターン周辺部を含み、前記レジストは、レジスト閾値を有し、前記複数の成形ビームショットは、前記パターンの異なる部分に異なる線量を与え、

決定するように構成される前記デバイスは、前記複数の成形ビームショットから線量マージンを計算し、前記線量マージンは、前記レジスト閾値において、前記パターン周辺部に垂直な直線方向に関する、レジスト線量の傾きである、システム。 10

【請求項 15】

前記計算することは、荷電粒子ビームシミュレーションを含む、請求項 14 に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

(関連出願)

本出願は、1) 2011年12月18日出願の「Method and System for Forming Patterns Using Charged Particle Beam Lithography with Overlapping Shots」と題する米国特許出願第13/329,314号への優先権を請求し、2) 2011年12月18日出願の「Method and System for Forming Patterns Using Charged Particle Beam Lithography with Variable Pattern Dosage」と題する米国特許出願第13/329,315号への優先権を請求し、これらの双方は、2011年2月28日出願の「Method And System For Design Of A Surface To Be Manufactured o Be Manufactured Using Charged Particle Beam Lithography」と題する米国特許出願第13/037,263号の一部継続出願であり、上記の全ては、あらゆる目的において参考することにより本明細書に組み込まれる。本出願はまた、2011年2月28日出願の「Method And System For Design Of Enhanced Accuracy Patterns For Charged Particle Beam Lithography」と題する米国特許出願第13/037,268号に関し、かつ2011年2月28日出願の「Method And System For Design Of Enhanced Edge Slope Patterns For Charged Particle Beam Lithography」と題する米国特許出願第13/037,270号に関し、これらの双方は、あらゆる目的において参考することにより本明細書に組み込まれる。 40

【0002】

本開示は、リソグラフィに関し、より具体的には、荷電粒子ビームリソグラフィを使用した、レチクル、ウエハ、または任意の他の表面であり得る表面の設計および製造に関する。

【背景技術】

【0003】

集積回路といった半導体デバイスの生産または製造においては、半導体デバイスを作製するために光リソグラフィが使用され得る。光リソグラフィは、レチクルから製造されるリソグラフィマスクまたはフォトマスクを使用して、パターンを半導体またはシリコンウエハといった基板に転写して、集積回路 (I.C.) を創出する、印刷プロセスである。 50

他の基板としては、フラットパネルディスプレイ、ホログラフィックマスク、またはさらには他のレチクルも含まれ得る。従来の光リソグラフィは、193 nmの波長を有する光源を使用するが、極紫外線(EUV)またはX線リソグラフィも、本出願における光リソグラフィのタイプであると見なされる。レチクルまたは複数のレチクルは、集積回路の個々の層に対応する回路パターンを含有し得、このパターンは、フォトレジストまたはレジストとして既知の放射線感受性材料の層でコーティングされた基板上のある領域上に画像化することができる。一度、パターン化された層が転写されると、層は、エッチング、イオン注入(ドーピング)、金属化、酸化、および研磨といった、種々の他のプロセスにかけられ得る。これらのプロセスは、基板における個々の層を完成させるために採用される。いくつかの層が必要とされる場合、全体のプロセスまたはその変形が各新たな層に対して繰り返される。最終的に、複数のデバイスまたは集積回路の組み合わせが、基板上に存在する。次いで、これらの集積回路は、ダイシングまたはソーアイングによって互いから分離され得、次いで、個々のパッケージに載置され得る。より一般的な場合において、基板上のパターンを使用して、表示画素、ホログラム、または磁気記録ヘッドといった加工品を画定し得る。従来の光リソグラフィ書き込み機械は、典型的に、光学的リソグラフィプロセスの間、フォトマスクパターンを4倍低減する。したがって、レチクルまたはマスク上に形成されるパターンは、基板またはウエハ上の所望のパターンのサイズよりも4倍大きくなければならない。

#### 【0004】

集積回路といった半導体デバイスの生産または製造においては、非光学的方法を使用して、リソグラフィマスク上のパターンを、シリコンウエハといった基板に転写することができる。ナノインプリントリソグラフィ(NIL)は、非光リソグラフィプロセスの例である。ナノインプリントリソグラフィにおいて、リソグラフィマスクパターンは、表面とのリソグラフィマスクの接触を通じて、表面に転写される。

#### 【0005】

集積回路といった半導体デバイスの生産または製造においては、マスクレス直接書き込みも使用して、半導体デバイスを作製することができる。マスクレス直接書き込みは、荷電粒子ビームリソグラフィを使用して、パターンを半導体またはシリコンウエハといった基板に転写して、集積回路を創出する印刷プロセスである。他の基板としては、フラットパネルディスプレイ、ナノインプリントリソグラフィ用のインプリントマスク、またはさらにはレチクルが含まれ得る。層の所望のパターンが、この場合では基板でもある表面に直接書き込まれる。一度、パターン化された層が転写されると、層は、エッチング、イオン注入(ドーピング)、金属化、酸化、および研磨といった、種々の他のプロセスにかけられ得る。これらのプロセスは、基板における個々の層を完成させるために採用される。いくつかの層が必要とされる場合、全体のプロセスまたはその変形が各新たな層に対して繰り返される。層の一部は、光リソグラフィを使用して書き込まれ得る一方で、他のものは、マスクレス直接書き込みを使用して書き込まれ、同じ基板を作製し得る。また、所与の層の一部のパターンは、光リソグラフィを使用して書き込まれ得、他のパターンは、マスクレス直接書き込みを使用して書き込まれ得る。最終的に、複数のデバイスまたは集積回路の組み合わせが、基板上に存在する。次いで、これらの集積回路は、ダイシングまたはソーアイングによって互いから分離され得、次いで、個々のパッケージに載置され得る。より一般的な場合において、表面上のパターンを使用して、表示画素、ホログラム、または磁気記録ヘッドといった加工品を画定し得る。

#### 【0006】

荷電粒子ビームリソグラフィの2つの一般的なタイプは、可変成形ビーム(VSB)およびキャラクタプロジェクション(CP)である。これらは、双方とも、成形ビーム荷電粒子ビームリソグラフィのサブカテゴリであり、ウエハの表面またはレチクルの表面といったレジストコーティングされた表面を露光するように、高精度の電子ビームが成形され、方向付けられる。VSBにおいて、これらの形状は、単純な形状であり、通常、ある最小および最大サイズであり、かつデカルト座標平面の軸に平行である辺を有する矩形(即

10

20

30

40

50

ち、「マンハッタン」配向)、ならびにある最小および最大サイズの45度の直角三角形(即ち、それらの3つの内角が45度、45度、および90度である三角形)に限定される。既定の場所において、ある線量の電子が、これらの単純な形状でレジストに射出される。このタイプのシステムに対する全書き込み時間は、ショット数とともに増加する。キャラクタプロジェクト(CP)において、システム内にステンシルが存在し、その中に、直線、任意の傾きの直線形、円形、ほぼ円形、環状、ほぼ環状、橢円形、ほぼ橢円形、部分的に円形、部分的にほぼ円形、部分的に環状、部分的にほぼ環状、部分的にほぼ橢円形、または任意の曲線形状といった複雑な形状であり得、かつ接続された組の複雑な形状、またはばらばらな組の接続された組の複雑な形状の群であり得る、様々なアーチャまたは特徴を有する。電子ビームをステンシル上のキャラクタを通じて射出して、レチクル上により複雑なパターンを効率的に生成することができる。理論上、かかるシステムは、各々時間のかかるショットを用いて、より複雑な形状を射出することができるため、VSBシステムよりも高速であり得る。このため、VSBシステムを用いたE形状のパターンショットは、4回のショットが必要であるが、キャラクタプロジェクトシステムでは1回のショットで同じE形状のパターンを射出することができる。VSBシステムは、通常、矩形または45-45-90度の三角形の単純なキャラクタに過ぎない、キャラクタプロジェクトの特別な(単純な)場合であると考えられ得るということに留意されたい。キャラクタを部分的に露光することもまた可能である。これは、例えば、粒子ビームの一部を遮断することによって行うことができる。例えば、上で説明されるE形状のパターンは、F形状のパターンまたはI形状のパターンとして部分的に露光され得、ここでのビームの異なる部分は、アーチャによってカットされる。これは、VSBを使用して、種々のサイズの矩形を射出することができるのと同じ機構である。本開示において、部分射影は、キャラクタプロジェクトおよびVSBプロジェクトの双方を意味するように使用される。10

#### 【0007】

示されるように、リソグラフィにおいて、リソグラフィマスクまたはレチクルは、基板上に集積されるべき回路構成要素に対応する、形状パターンを備える。レチクルを製造するために使用されるパターンは、コンピュータ援用設計(CAD)ソフトウェアまたはプログラムを利用して生成されてもよい。パターンを設計する際、CADプログラムは、レチクルを創出するために、一組の既定の設計規則に従ってもよい。これらの規則は、処理、設計、および最終用途制限によって設定される。最終用途制限の例は、トランジスタの形状を、トランジスタが、必要とされる供給電圧で十分に動作することができないよう定義することである。特に、設計規則は、回路デバイス間または相互接続配線間の空間公差を定義することができる。設計規則は、例えば、回路デバイスまたは配線が、望ましくない様態で互いに相互作用しないことを確実とするために使用される。例えば、設計規則は、配線が短絡を引き起こし得るように互いに近付きすぎないように使用される。設計規則の制限は、とりわけ、確実に作製することができる最小寸法を反映する。これらの最小寸法を言及する時、通常、限界寸法の概念が導入される。これらは、例えば、配線の最小幅または2つの配線間の最小空間として定義され、それらの寸法は、精巧な制御を必要とする。20

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0008】

光リソグラフィによる集積回路における1つの目標は、レチクルの使用によって、基板上に元の回路設計を再現することである。集積回路作製者は、常に、半導体ウエハ面積を可能な限り効率的に使用することを試みている。技術者は、集積回路が、より多くの回路要素を含有し、かつより少ない電力を使用することを可能にするように、回路のサイズを縮小し続ける。集積回路の限界寸法のサイズが低減され、かつその回路密度が増加するにつれて、回路パターンまたは物理的設計の限界寸法は、従来の光リソグラフィにおいて使用される光学的露光ツールの解像限度に近付く。回路パターンの限界寸法が小さくなり、304050

露光ツールの解像度に近付くにつれて、レジスト層に現像される実際の回路パターンへの物理的設計の正確な転写は、困難になる。光リソグラフィプロセスにおいて使用される光波長よりも小さい特徴を有するパターンを転写するための光リソグラフィの使用を促進するため、光学近接補正（O P C）と既知のプロセスが開発されている。O P Cは、物理的設計を改変して、特徴の光学的回折および光学的相互作用といった効果によって引き起こされる歪みを、近接特徴で補正する。O P Cは、レチクルを用いて実施される全ての解像度向上技術を含む。

#### 【 0 0 0 9 】

O P Cは、元の物理的設計パターン、即ち、設計と、基板上の最終転写回路パターンとの間の相違を低減するように、サブ解像度リソグラフィ特徴をマスクパターンに追加することができる。サブ解像度リソグラフィ特徴は、物理的設計における元のパターンと、および互いに相互作用し、最終転写回路パターンを改善するように近接効果を補正する。パターンの転写を改善するために使用される1つの特徴は、サブ解像度補助特徴（S R A F）である。パターン転写を改善するために追加される別の特徴は、「セリフ」と称される。セリフは、最終転写画像の角を鋭くするように、パターンの内または外角に位置付けることができる小さい特徴である。S R A Fのための表面製造プロセスに必要とされる精度は、しばしば主要特徴と称される、基板上への印刷が意図されるパターンに対して必要とされる精度よりも低い場合が多い。セリフは、主要特徴の一部である。光リソグラフィの限界が、サブ波長領域まで拡大するにつれて、O P C特徴は、さらにより微細な相互作用および効果を補正するために、ますます複雑にしなければならない。撮像システムがそれらの限界に追い込まれるにつれて、十分に微細なO P C特徴を有するレチクルを生産する能力が重要になる。セリフまたは他のO P C特徴をマスクパターンに追加することは有利であるが、マスクパターンにおける総特徴数も実質的に増加させる。例えば、従来の技術を使用して正方形の角の各々にセリフを追加することは、マスクまたはレチクルパターンにさらに8つの矩形を追加する。O P C特徴の追加は、非常に手間のかかる作業であり、費用のかかる演算時間を必要とし、かつより高価なレチクルをもたらす。O P Cパターンは複雑であるだけでなく、光学的近接効果は、最小配線および空間寸法と比較して長範囲であるため、所与の場所における正確なO P Cパターンは、近傍にどのような他の形状があるかに著しく依存する。このため、例えば、配線端は、レチクル上でその付近に何があるかに依存して、異なるサイズのセリフを有する。これは、ウエハ上に全く同じ形状を生産することが目的であり得る場合でさえも同様である。これらのわずかな、しかし重要なばらつきは、重要であり、かつ他がレチクルパターンを形成することができますを阻止している。従来、レチクル上に書き込まれるO P C装飾パターンは、設計された特徴、即ち、O P C装飾前の設計を反映する特徴、ならびにO P C特徴がセリフ、ジョグ、およびS R A Fを含み得るO P C特徴に関して述べられる。わずかなばらつきが意味するものを定量化すると、近傍から近傍へのO P C装飾における典型的なわずかなばらつきは、設計された特徴サイズの5%から80%であり得る。明確にするために、言及されるものが、O P Cの設計におけるばらつきであるということに留意されたい。角取りといった製造上のばらつきもまた、実際の表面パターンに存在する。これらのO P Cのばらつきが、ウエハ上に実質的に同じパターンを生成する時、ウエハ上の形状は、例えば、トランジスタまたは配線等のその形状が実施するように設計される機能の詳細に依存する、所定の誤差内で同じであることが目標とされるということを意味する。それでもなお、典型的な仕様は、設計された特徴範囲の2%~50%である。同様にばらつきを引き起こす多数の製造上の要因が存在するが、その総合誤差のO P C構成要素は、しばしば、列記される範囲内である。サブ解像度補助特徴といったO P C形状は、光リソグラフィを使用してウエハに転写することができる最小特徴のサイズに基づく規則といった、種々の設計規則に従う。他の設計規則は、マスク製造プロセスから、またはキャラクタプロジェクト荷電粒子ビーム書き込みシステムを使用して、レチクル上にパターンを形成する場合、ステンシル製造プロセスからもたらされ得る。マスク上のS R A F特徴の精度要件は、マスク上の設計された特徴に対する精度要件よりも低い場合があるということもまた、留意されたい。ブ

10

20

30

40

50

口セスノードが縮小し続けるにつれて、フォトマスク上の最小 S R A F のサイズもまた縮小する。例えば、20 nm の論理プロセスノードにおいて、40 nm から 60 nm の S R A F が、最高精度層に対するマスクに必要とされる。

#### 【0010】

逆リソグラフィ技術 ( I L T ) は、O P C 技術の 1 つのタイプである。I L T は、レチクル上に形成されるべきパターンが、シリコンウエハといった基板上に形成されることが所望されるパターンから、直接演算されるプロセスである。これは、基板上の所望のパターンを入力として使用して、光リソグラフィプロセスを逆方向にシミュレーションすることを含み得る。I L T 演算レチクルパターンは、純粹に曲線、即ち、完全に非直線であり得、円形、ほぼ円形、環状、ほぼ環状、橢円形および / またはほぼ橢円形のパターンを含み得る。これらの理想的な I L T 曲線パターンは、従来の技術を使用してレチクル上に形成することが困難かつ高価であるため、曲線パターンの直線近似または直線化が使用され得る。しかしながら、直線近似は、理想的な I L T 曲線パターンと比較して、精度が減少する。さらに、直線近似が理想的な I L T 曲線パターンからもたらされる場合、全体的な計算時間は、理想的な I L T 曲線パターンと比較して増加する。本開示において、I L T 、O P C 、ソースマスク最適化 ( S M O ) 、および演算リソグラフィは、同義的に使用される用語である。

#### 【0011】

光リソグラフィまたは荷電粒子ビームリソグラフィを使用することを含む、レチクル上にパターンを形成するために使用されるいくつかの技術が存在する。最も一般的に使用されるシステムは、可変形ビーム ( V S B ) であり、上で説明されるように、マンハッタン矩形および 45 度直角三角形といった単純な形状を有するある線量の電子が、レジストコーティングされたレチクル表面を露光する。従来のマスク書き込みにおいて、電子の線量または ショット は、どのようにしてレチクル上のレジストがパターンを描出するかの計算を大幅に簡略化するように、可能な限り、重複を回避するように、従来、設計される。同様に、一組の ショット は、レチクル上に形成されるべきパターン領域を完全に被覆するように設計される。本特許出願の譲受人によって所有され、かつ全ての目的で参照することにより組み込まれる、米国特許第 7,754,401 号は、パターンを書き込むための意図的な ショット 重複が使用される、マスク書き込みの方法を開示する。重複 ショット が使用される時、荷電粒子ビームシミュレーションを使用して、レチクル上のレジストが描出するパターンを 決定 することができる。重複 ショット の使用は、パターンが、低減された ショット 数でもって書き込まれることを可能にし得る。米国特許第 7,754,401 号はまた、線量調整の使用を開示し、ショット の割り当てられた線量が、他の ショット の線量に対して変化する。モデルベースのフラクチャリングという用語は、米国特許第 7,754,401 号の技術を使用して、ショット を 決定 するプロセスを説明するために使用される。

#### 【0012】

最も高度な技術ノードに対するレチクル書き込みは、典型的に、マルチパス露光と呼ばれるプロセスである、荷電粒子ビーム書き込みの複数のパスを含み、それにより、レチクル上の所与の形状が書き込まれ、上書きされる。典型的に、2 から 4 つのパスを使用して、荷電粒子ビームライタにおける精度誤差を平均するようにレチクルを書き込み、より正確なフォトマスクの創出を可能にする。また、典型的に、線量を含む ショット のリストは、パスごとに同じである。マルチパス露光の一変形において、ショット のリストは、露光パス間で変化し得るが、いずれの露光パスにおける ショット の集合も、同じ領域を被覆する。マルチパス書き込みは、表面をコーティングするレジストの過熱を低減することができる。マルチパス書き込みはまた、荷電粒子ビームライタのランダム誤差を平均する。異なる露光パスに対して異なる ショット リストを使用したマルチパス書き込みはまた、書き込みプロセスにおけるあるシステム誤差の効果を低減することができる。

#### 【0013】

E U V リソグラフィにおいて、O P C 特徴は、一般的に必要とされない。したがって、

10

20

30

40

50

レチクル上に製造されるべきパターンの複雑性は、従来の 193 nm の波長の光リソグラフィよりも低く、ショット数の低減は、それに応じて重要性はより低い。しかしながら、EUVにおいて、典型的にウエハ上のパターンのサイズの 4 倍である、マスク上のパターンは、十分に小さく、それらを、電子ビームといった荷電粒子ビーム技術を使用して正確に形成するには困難であるため、マスク精度要件は非常に高い。

【課題を解決するための手段】

【0014】

フラクチャリングまたはマスクデータ準備または光学近接補正または近接効果補正またはマスクプロセス補正のための方法およびシステムが開示され、表面上にパターンを形成することが可能である、一組の成形ビームショットが決定され、同じ露光パスにおける複数のショットは、重複し、一組のショットからの線量マージンが計算される。

10

【0015】

表面上にパターンを形成するための方法もまた開示され、表面上にパターンを形成することが可能である、一組の成形ビームショットが決定され、同じ露光パスにおける複数のショットは、重複し、一組のショットからの線量マージンが計算される。

【0016】

フラクチャリングまたはマスクデータ準備または光学近接補正または近接効果補正またはマスクプロセス補正のための方法およびシステムが開示され、表面上にパターンを形成することが可能である、一組の成形ビームショットが決定され、一組のショットは、パターンの異なる部分に異なる線量を提供し、一組のショットからの線量マージンが計算される。

20

【0017】

表面上にパターンを形成するための方法もまた開示され、表面上にパターンを形成することが可能である、一組の成形ビームショットが決定され、一組のショットは、パターンの異なる部分に異なる線量を提供し、一組のショットからの線量マージンが計算される。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】キャラクタプロジェクト粒子ビームシステムの実施例を示す図である。

【図2A】単一の荷電粒子ビームショットの実施例、およびショットの断面線量グラフを示す図である。

30

【図2B】一対の近接ショットの実施例、およびショット対の断面線量グラフを示す図である。

【図2C】図2Bのショットの対からのレジストコーティングされた表面上に形成されるパターンの実施例を示す図である。

【図3A】多角形パターンの実施例を示す図である。

【図3B】図3Aの多角形パターンの従来のフラクチャリングの実施例を示す図である。

【図3C】図3Aの多角形パターンの代替的なフラクチャリングの実施例を示す図である。

【図4A】矩形ショットからのショット輪郭の実施例を示す図である。

【図4B】通常ショット線量を使用した図4Aのショットに対する、縦方向の線量曲線の実施例を示す図である。

40

【図4C】長範囲効果を含めた、図4Bと同様の縦方向の線量曲線の実施例を示す図である。

【図4D】通常ショット線量よりも高いものを使用した図4Aのショットに対する縦方向の線量曲線の実施例を示す図である。

【図4E】長範囲効果を含めた、図4Dと同様の縦方向の線量曲線の実施例を示す図である。

【図4F】図4Eと同様だが、より高い背景線量レベルを伴う、縦方向の線量曲線の実施例を示す図である。

【図5A】表面上に形成されるべき円形パターンの実施例を示す図である。

50

【図5B】図5Aのパターンを形成することができる9つのショットの輪郭の実施例を示す図である。

【図6A】表面上に形成されるべき正方形パターンを示す図である。

【図6B】表面上に図6Aのパターンを形成する単一ショット方法を示す図である。

【図6C】本発明の別の実施形態による、表面上に図6Aのパターンを形成する方法の実施例を示す図である。

【図6D】本発明のなお別の実施形態による、表面上に図6Aのパターンを形成する方法の実施例を示す図である。

【図7】光リソグラフィを使用して、シリコンウエハ上に集積回路といった基板を作製する際に使用するための、レチクルといった表面をどのように調製するかの概念的フローチャートである。

【図8】シリコンウエハ上に集積回路といった基板を作製する際に使用するための、表面をどのように調製するかのフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0019】

本開示は、荷電粒子ビームライタに対するショットにパターンをフラクチャリングするための方法を説明し、重複ショットを生成して、表面に書き込まれるパターンの精度および／または線量マージンを改善する。線量マージンの改善は、プロセスのばらつきと関連付けられる、書き込まれたパターンにおける寸法の変化を低減する。

【0020】

ここで、同様の番号が同様の項目を指す図面を参照すると、図1は、表面130を製造するためにキャラクタプロジェクトを採用する、荷電粒子ビームライタシステム、この場合、電子ビームライタシステムといった、従来のリソグラフィシステム100の実施形態を例解する。電子ビームライタシステム100は、電子ビーム114をアーチャプレート116に向けて射影する電子ビーム源112を有する。プレート116は、電子ビーム114が通過することを可能にする、その中に形成されるアーチャ118を有する。一度、電子ビーム114がアーチャ118を通過すると、それは、レンズシステム(図示せず)によって、電子ビーム120として、別の矩形アーチャプレートまたはステンシルマスク122に向かって方向付けられるか、偏向される。ステンシル122は、その中に形成される、複雑なキャラクタであり得る、種々のタイプのキャラクタ126を画定する、いくつかの開口またはアーチャ124を有する。ステンシル122内に形成される各キャラクタ126は、シリコンウエハ、レチクル、または他の基板といった、基板132の表面130上にパターン148を形成するために使用することができる。部分露光、部分射影、部分キャラクタプロジェクト、または可変キャラクタプロジェクトにおいて、電子ビーム120は、キャラクタ126のうちの1つの一部分のみに当てるまたは照射するように位置付けられ、それにより、キャラクタ126のサブセットであるパターン148を形成することができる。アーチャ118によって画定される電子ビーム120のサイズよりも小さい各キャラクタ126に関して、アーチャを全く含有しないプランギング領域136は、電子ビーム120がステンシル122上の望ましくないキャラクタを照射することを阻止するように、キャラクタ126に隣接するように設計される。電子ビーム134は、キャラクタ126のうちの1つから現れ、キャラクタ126からのパターンのサイズを縮小する、電磁気または静電気縮小レンズ138を通過する。一般的に利用可能な荷電粒子ビームライタシステムにおいて、縮小係数は、10～60である。縮小された電子ビーム140は、縮小レンズ138から現れ、一連の偏向器142によって、パターン148として表面130上に方向付けられ、これは、キャラクタ126Aに対応する文字「H」の形状であるとして描写される。パターン148は、縮小レンズ138のため、キャラクタ126Aと比較してサイズが縮小される。パターン148は、電子ビームシステム100の1つのショットを使用することによって描画される。これは、可変形状ビーム(VSB)プロジェクトシステムまたは方法を使用することと比較して、パターン148を完了するための全体的な書き込み時間を低減する。1つのアーチャ

10

20

30

40

50

チャ 1 1 8 がプレート 1 1 6 に形成されていると示されるが、プレート 1 1 6 に 2 つ以上のアパー・チャが存在し得ることが可能である。2つのプレート 1 1 6 および 1 2 2 が本実施例において示されるが、各プレートが 1 つ以上のアパー・チャを備える、1つのみのプレートまたは 3 つ以上のプレートが存在してもよい。ステンシルマスク 1 2 2 はまた、矩形アパー・チャ 1 2 5 といった、V S B ショットのためのアパー・チャを含有する。

#### 【 0 0 2 1 】

従来の荷電粒子ビームライタシステムにおいて、縮小レンズ 1 3 8 は、一定の縮小係数を提供するように校正される。縮小レンズ 1 3 8 および / または偏向器 1 4 2 はまた、表面 1 3 0 の平面上にビームを集束させる。表面 1 3 0 のサイズは、偏向プレート 1 4 2 の最大ビーム偏向能力よりも有意に大きい場合がある。このため、パターンは、通常、一連のストライプで表面上に書き込まれる。各ストライプは、複数のサブフィールドを含有し、サブフィールドは、偏向プレート 1 4 2 のビーム偏向能力内にある。電子ビームライタシステム 1 0 0 は、ストライプおよびサブフィールドの各々に対する基板 1 3 2 の位置付けを可能にするように、位置付け機構 1 5 0 を含有する。従来の荷電粒子ビームライタシステムの一変形において、基板 1 3 2 は、サブフィールドが露光される間、静止して保持され、その後、位置付け機構 1 5 0 は、基板 1 3 2 を次のサブフィールド位置に移動させる。従来の荷電粒子ビームライタシステムの別の変形において、基板 1 3 2 は、書き込みプロセス中、連続的に移動する。偏向プレート 1 4 2 に加えて、連続的な移動を伴うこの変形において、基板 1 3 2 が移動するのと同じ速度および方向にビームを移動させるように、別の組の偏向プレート（図示せず）が存在してもよい。一実施形態において、基板 1 3 2 は、レチクルであってもよい。本実施形態において、レチクルは、パターンとともに露光された後、種々の製造ステップがかけられ、それを通じて、リソグラフィマスクまたはフォトマスクになる。次いで、マスクを光リソグラフィ機械において使用して、概してサイズが縮小された、レチクルパターン 1 4 8 の画像をシリコンウエハ上に射影して、集積回路を生成することができる。より一般的には、マスクを別のデバイスまたは機械において使用して、パターン 1 4 8 を基板上に転写する。別の実施形態において、基板 1 3 2 は、シリコンウエハであってもよい。

#### 【 0 0 2 2 】

合理的な精度で表面 1 3 0 上に射影することができる最小サイズパターンは、電子ビームライタシステム 1 0 0 、および通常、基板 1 3 2 上にレジストコーティングを備える表面 1 3 0 と関連付けられる、多様な短範囲の物理的効果によって制限される。これらの効果には、前方散乱、クーロン効果、およびレジスト拡散が含まれる。<sub>f</sub> とも呼ばれるビームぼけは、これらの短範囲効果の全てを含むように使用される用語である。最も現代的な電子ビームライタシステムは、2 0 nm から 3 0 nm の範囲内の効果的なビームぼけ半径または <sub>f</sub> を達成することができる。前方散乱は、全ビームぼけの 1 / 4 から 1 / 2 を成し得る。現代的な電子ビームライタシステムは、ビームぼけの構成部分の各々を最小に低減するように、多数の機構を含有する。ビームぼけの一部の構成要素は、粒子ビームライタの校正レベルの関数であるため、同じ設計の 2 つの粒子ビームライタの <sub>f</sub> は、異なり得る。レジストの拡散特徴もまた変化し得る。ショットサイズまたはショット線量に基づく <sub>f</sub> のばらつきは、シミュレーション、および体系的に説明することができる。しかし、説明することができない、または説明されない他の効果が存在し、それらは、ランダムなばらつきとして考えられる。

#### 【 0 0 2 3 】

電子ビームライタシステムといった荷電粒子ビームライタのショット線量は、ビーム源 1 1 2 の強度、および各ショットに対する露光時間の関数である。典型的に、ビーム強度は一定のままであり、露光時間は、可変ショット線量を得るように変化する。露光時間は、近接効果補正 ( P E C ) と呼ばれるプロセスにおいて、後方散乱およびフォギングといった、種々の長範囲効果を補正するために変化し得る。電子ビームライタシステムは、通常、露光バスにおける全てのショットに影響する、ベース線量と呼ばれる全体的な線量の設定を可能にする。一部の電子ビームライタシステムは、電子ビームライタシステム自体

10

20

30

40

50

内で線量補正計算を実施し、各ショットの線量が、入力ショットリストの一部として個々に割り当てられることを可能とせず、したがって、入力ショットは、割り当てられないショット線量を有する。かかる電子ビームライタシステムにおいて、全てのショットは、P E Cの前は、ベース線量を有する。他の電子ビームライタシステムは、ショットごとの線量割り当てを可能にする。ショットごとの線量割り当てを可能にする電子ビームライタシステムにおいて、利用可能な線量レベルの数は、64から4096以上であり得るか、または3から8のレベルといった比較的少ない利用可能な線量レベルが存在し得る。本発明の一部の実施形態は、比較的少ない線量レベルのうちの1つの割り当てを可能にする、荷電粒子ビーム書き込みシステムとの使用を目標とする。

【0024】

10

電子ビームライタ内の機構は、計算に対して比較的粗い分解能を有する。そのようなものとして、2 μmの範囲においてEUVマスクに必要とされ得るような中範囲補正は、現在の電子ビームライタによっては正確に演算することができない。

【0025】

図2A～図2Bは、どのようにエネルギーが1つ以上の荷電粒子ビームショットからレジストコーティングされた表面上に描出されるかを例解する。図2Aにおいて、矩形パターン202は、他のショットに近接しないショットからレジストコーティングされた表面上に生成されるパターンである、ショット輪郭を例解する。パターン202の角は、ビームぼけにより丸くされる。線量グラフ210において、線量曲線212は、ショット輪郭202を通る線204に沿った断面線量を例解する。線214は、その上でレジストがパターンを描出する線量である、レジスト閾値を示す。線量グラフ210から見るように、線量曲線212は、X座標「a」と「b」との間でレジスト閾値を上回る。座標「a」は、ショット輪郭202の左限を示す、破線216に対応する。同様に、座標「b」は、ショット輪郭202の右限を示す、破線218に対応する。図2Aの実施例におけるショットに対するショット線量は、線量グラフ210上でマークされるように、通常線量である。従来のマスク書き込み方法論において、通常線量は、比較的大きい矩形ショットが、長範囲効果の非存在下で、レジストコーティングされた表面上に、所望のサイズのパターンを描出するように設定される。したがって、通常線量は、レジスト閾値214の値に依存する。

20

【0026】

30

図2Bは、2つの粒子ビームショットのショット輪郭、および対応する線量曲線を例解する。ショット輪郭222およびショット輪郭224は、2つの近接粒子ビームショットに起因する。線量グラフ220において、線量曲線230は、ショット輪郭222および224を通る線226に沿った線量を例解する。線量曲線230に示されるように、線226に沿ったレジストによって描出される線量は、ショット輪郭222およびショット輪郭224によって表される2つの粒子ビームショットからの線量の合計といった組み合わせである。見ることができるように、線量曲線230は、X座標「a」からX座標「d」まで閾値214を上回る。これは、レジストが、座標「a」から座標「d」に延在する単一の形状として、2つのショットを描出するということを示す。図2Cは、図2Bの実施例からの2つのショットが形成し得る、パターン252を例解する。パターン252の可変幅は、ショット輪郭222とショット輪郭224との間の間隙の結果であり、ショット222と224との間の間隙が、間隙に最も近いショット輪郭の角の付近で、線量を閾値を下回って降下させるということを例解する。

40

【0027】

单一の露光バスを使用した非重複ショットを使用する時、従来は、全てのショットは、P E C線量調節の前に通常線量を割り当てられる。したがって、ショットごとの線量割り当てをサポートしない荷電粒子ビームライタは、ベース線量を通常線量に設定することによって使用することができる。複数の露光バスが、かかる荷電粒子ビームライタとともに使用される場合、ベース線量は、従来、以下の方程式に従って設定される。

【0028】

50

ベース線量 = 通常線量 / 露光パスの数

図3A～図3Cは、多角形パターンをフラクチャリングする2つの既知の方法を例解する。図3Aは、表面上に形成されることが所望される多角形パターン302を例解する。図3Bは、非重複またはばらばらなショットを使用してこのパターンを形成する従来の方法を例解する。明確にするためにXでマークされるショット輪郭310、ショット輪郭312、およびショット輪郭314は、相互にばらばらである。さらに、これらのショット輪郭と関連付けられる3つのショットは、全て、近接効果補正の前に、所望の通常線量を使用する。図3Bに示されるような従来の方法を使用する利点は、レジストの応答を容易に予想することができるということである。また、図3Bのショットは、荷電粒子ビームライタのベース線量を通常線量に設定することによって、ショットごとの線量割り当てを可能としない、荷電粒子ビームシステムを使用して露光することができる。図3Cは、米国特許第7,754,401号において開示される、重複ショットを使用してレジストコードティングされた表面上にパターン302を形成する代替的な方法を例解する。図3Cにおいて、ショット輪郭が重複することができないという制約は排除されており、ショット320およびショット322は、重複する。図3Cの実施例において、ショット輪郭が重複することを可能にすることは、図3Bの3つのショットと比較して、2つのショットのみでパターン302を形成することを可能にする。しかしながら、図3Cにおいて、重複ショットに対するレジストの応答は、図3Bほど容易に予想されるものではない。特に、内角324、326、328、および330は、横線の陰影によって示される、重複領域332によって受容される大きい線量により、過度に丸みを帯びているとして描出し得る。荷電粒子ビームシミュレーションは、レジストによって描出されるパターンを決定するために使用することができる。本特許出願の譲受人によって所有され、かつ全ての目的で参照することにより組み込まれる、米国特許第8,062,813号において開示される一実施形態において、荷電粒子ビームシミュレーションは、線量マップと呼ばれる計算された線量のグリッドを創出する、2次元(XおよびY)グリッドにおいて、各グリッド場所に対する線量を計算するために使用することができる。荷電粒子ビームシミュレーションの結果は、ショット320およびショット322に対する非通常線量の使用を示し得る。さらに、図3Cにおいて、領域332におけるショットの重複は、エリア線量(パターン302に近接したエリアにおける線量)をショット重複を伴わない場合のものを超えて増加させ、それにより、後方散乱を増加させる。2つの個々のショットの重複は、エリア線量を著しくは増加させない一方で、この技術は、設計全体を通じて使用される場合、後方散乱を増加させる。

#### 【0029】

例えば、荷電粒子ビームリソグラフィを使用して表面上に繰り返しパターンを露光させる際、各パターン例のサイズは、最終的な製造された表面上で測定されるように、製造上のばらつきにより、わずかに異なる。サイズのばらつきの量は、本質的な製造最適化基準である。今日のマスクマスキングにおいて、1nm(1シグマ)以下の二乗平均平方根(RMS)のばらつきが所望され得る。より多くのサイズのばらつきは、回路性能におけるより多くのばらつきに変わり、より高い設計マージンが必要とされることにつながり、より速い、低電力の集積回路を設計することをますます困難にする。このばらつきは、限界寸法(CD)ばらつきと称される。低いCDばらつきが望ましく、製造上のばらつきが最終的な製造された表面上で比較的小さいサイズのばらつきを生成することを示す。より小さい規模において、高いCDばらつきの効果は、ラインエッジラフネス(LER)として観察され得る。LERは、わずかに異なって製造されているラインエッジの各部によって引き起こされ、直線のエッジを有することが意図される線における何らかの波型につながる。CDばらつきは、エッジ傾斜と呼ばれる、レジスト閾値における線量曲線の傾斜に反比例する。したがって、エッジ傾斜すなわち線量マージンは、表面の粒子ビーム書き込みに対する重要な最適化要因である。

#### 【0030】

図4Aは、矩形ショット402の輪郭の実施例を例解する。図4Bは、通常ショット線

10

20

30

40

50

量を伴い、ショット402が、例として10ミクロンであり得る、後方散乱効果の範囲内の唯一のショットである場合に生じるものといった後方散乱を伴わない、ショット輪郭402を通る線404に沿った線量を例解する線量グラフ410の実施例を例解する。他の長範囲効果もまた、図4Bの背景露光に何も寄与しないと推定され、ゼロ背景露光レベルにつながる。レジストに送達される総線量は、y軸上に例解され、通常線量の100%である。ゼロ背景露光により、総線量およびショット線量は、同じである。線量グラフ410はまた、レジスト閾値414を例解する。x方向における線量グラフ410によって表される形状のCDばらつきは、レジスト閾値と交差するx座標「a」および「b」において、線量曲線412の傾斜と反比例する。

## 【0031】

10

ゼロ背景露光の図4Bの条件は、実際の設計を反映しない。実際の設計は、典型的に、ショット402の後方散乱距離内に多くの他のショットを有する。図4Cは、非ゼロ背景露光428を伴う、通常総線量を用いたショットの線量グラフ420の実施例を例解する。本実施例において、通常線量の20%の背景露光が示される。線量グラフ420において、線量曲線422は、ショット402と同様のショットの断面線量を例解する。曲線422のCDばらつきは、後方散乱によって引き起こされる背景露光により、曲線422が点「a」および「b」でレジスト閾値424と交差する、より低いエッジ傾斜によって示されるように、曲線412のCDばらつきよりも不良である。

## 【0032】

20

レジスト閾値における線量曲線の傾斜を増加させる一方法は、ショット線量を増加させることである。図4Dは、背景露光を伴わずに、通常線量の150%の総線量を例解する、線量曲線432を伴う線量グラフ430の実施例を例解する。背景露光を伴わない場合、ショット線量は、総線量と等しい。図4Dにおける閾値434は、図4Bにおける閾値414から変化していない。ショット線量の増加は、レジストによって描出されるパターンのサイズを増加させる。したがって、閾値434との線量曲線432の交点として例解される、レジストパターンのサイズを維持するためには、線量グラフ430に対して使用されるショットサイズは、ショット402よりもいくらか小さい。見ることができるように、線量曲線432の傾斜は、それが閾値414と交差する線量曲線412の傾斜よりも、それが閾値434と交差する場所ではより高く、図4Bの通常線量ショットよりも、図4Dのより高い線量のショットに対する、より低く、改善されたCDばらつきを示す。

## 【0033】

30

しかしながら、線量グラフ410のように、線量グラフ430のゼロ背景露光条件は、実際の設計を反映しない。図4Eは、1つのみのショットの線量が通常線量の150%の総線量を達成するように増加され、他のショットの線量が通常線量の100%のままとされた場合に生じるような、20%背景露光を伴って、レジスト上で通常線量の150%の総線量を達成するように調節されるショット線量を伴う、線量グラフ440の実施例を例解する。閾値444は、図4B～4Dと同じである。背景露光は、線448として例解される。見ることができるように、x座標「a」および「b」における線量曲線442の傾斜は、後方散乱の存在により、x座標「a」および「b」における線量曲線432の傾斜よりも少ない。ショット線量の効果に関してグラフ420および440を比較すると、x座標「a」および「b」における線量曲線442の傾斜は、同じx座標における線量曲線422の傾斜よりも高く、改善されたエッジ傾斜は、他のショットの線量が同じままである場合、線量を増加させることによって、単一のショットに対して得ることができることを示す。

## 【0034】

40

図4Fは、全てのショットの線量が通常線量の150%まで増加された場合を例解する、線量グラフ450の実施例を例解する。2つの背景線量レベルが、線量グラフ450上に示される：全てのショットが通常線量の150%を使用する場合に生成され得るといった、30%背景線量459、および20%は、線量グラフ440において背景線量であるため、比較のために示される20%背景線量458。線量曲線452は、30%背景線量

50

459に基づく。見ることができるように、x座標「a」および「b」における線量曲線452のエッジ傾斜は、同じ点における線量曲線442のそれよりも少ない。

#### 【0035】

要約すると、図4A～図4Fは、通常線量よりも高いものを選択的に使用して、隔離された形状に対するCDばらつきを低下させることができることを例解する。しかしながら、線量の増加は、2つの望ましくない効果を有する。第1に、線量の増加は、露光時間を延ばすことによって、現代的な荷電粒子ビームライタにおいて達成される。このため、線量の増加は、書き込み時間を増加させ、これは費用を増加させる。第2に、図4E～Fに例解されるように、互いの後方散乱範囲内の多くのショットが、増加された線量を使用する場合、後方散乱の増加は、全てのショットのエッジ傾斜を低減させ、それにより、ある割り当てられた線量の全てのショットに対するCDばらつきを悪化させる。任意の所与のショットがこの問題を回避するための唯一の方法は、線量を増加させ、より小さいサイズを射出することである。しかしながら、これを行うことは、後方散乱をさらにより増加させる。このサイクルは、全てのショットをより高い線量にさせ、書き込み時間をさらに悪化させる。したがって、エッジを画定するショットに対してのみ線量を増加させることがより良好である。

#### 【0036】

エッジ傾斜すなわち線量マージンは、パターンエッジのみにおける問題である。例えば、通常線量が、良好なエッジ傾斜を提供するように、レジスト閾値の2倍である場合、パターンの内部領域は、製造上のばらつきに対するいくらかのマージンを占めた後、全ての内部領域における線量がレジスト閾値を上回ったままである限り、通常線量よりも低い線量を有することができる。本開示において、パターンの内部領域の線量を低減する2つの方法を開示する。

#### 【0037】

- 割り当てられたショット線量が利用可能である場合、通常ショット線量よりも低いものを使用する。

#### 【0038】

- パターンの内部にショット間の間隙を挿入する。ショット輪郭は間隙を示し得るが、製造上のばらつきに対して提供されるマージンを伴って、間隙エリア内の線量がどこでもレジスト閾値を上回る場合、間隙は、レジストによって描出されない。

#### 【0039】

これらの技術のいずれかまたは双方は、エリア線量を低減し、このため、後方散乱によって引き起こされる背景線量を低減する。したがって、パターンエッジにおけるエッジ傾斜は増加され、それにより、CDばらつきを改善する。

#### 【0040】

最適化技術を使用して、パターンの内部部分において達成することができる最も低い線量を決定することができる。一部の実施形態において、これらの最適化技術は、一組のショットが、恐らく既定の公差内で、所望のパターンを形成するということを決定するように、粒子ビームシミュレーションを使用したもののように、一組のショットに対するレジスト応答を計算することを含む。割り当てられていない線量ショットのみをサポートする荷電粒子ビームライタに対するショットを創出する時、間隙をパターンの内部領域において使用して、エリア線量を低減することができるということに留意されたい。特に、製造公差の「稀な事例 (corner case)」とともにシミュレーションすることによって、より低い線量または間隙を伴う設計を、低減された書き込み時間および改善されたエッジ傾斜でもって、安全に所望の形状を射出するように既定することができる。

#### 【0041】

図5Aは、表面上に形成されるべき円形パターン502の実施例を例解する。図5Bは、どのようにパターン502が、割り当てられたショット線量を有する一組の9つのVSショットを用いて形成され得るかの実施例を例解する。図5Bは、9つのショットの各々のショット輪郭を例解する。図5Bにおいて、重複ショット512、514、516、

10

20

30

40

50

518、520、522、524、および526は、比較的より高い組の線量が割り当てられ得るか、または一部の実施形態においては、これらのショットの各々が、表面上のパターンの周辺を定義するため、良好なエッジ傾斜を維持するように、全て通常線量が割り当てられ得る。しかしながら、ショット530は、パターンのエッジを画定しないため、ショット530は、通常線量の0.7倍といった、ショット512、514、516、518、520、522、524、および526未満の割り当てられた線量を有し得る。即ち、異なる線量が、パターンの異なる部分に提供される。ショットサイズは、形状502の内部のいかなる部分をも、恐らく、製造上のばらつきに対するいくらかのマージンを伴って、レジスト閾値を下回らせないように、慎重に選択される。ショット530はまた、図5Bに例解されるように、ショット530の輪郭と、隣接するショットの各々の輪郭との間に隙間が存在するように、サイズ決定されてもよい。隙間が存在する時、一組のショットにおけるショットの輪郭の集合は、所望のパターンを被覆しない。粒子ビームシミュレーションは、隙間をレジストによって描出させることなく、線量を低減し得るように、隙間に対する最適なサイズを決定するためには使用されてもよい。ショット530に対する通常線量よりも低いものの使用は、相互の後方散乱範囲内の多数のかかるショットに適用される時、後方散乱およびフォギングを低減し、ショット530、および通常線量を伴う後方散乱範囲内の多数の他のショットの露光と比較して、改善されたエッジ傾斜に寄与する。

## 【0042】

図5Bとともに上で説明される解決策は、個々のショットに対する線量割り当てを可能にしない荷電粒子ビームシステムを使用してさえ、実装され得る。本発明の一実施形態において、少数の線量、例えば、通常の1.0倍および通常の0.7倍といった2つの線量が選択されてもよく、これらの2つの線量の各々に対するショットは、2つの別個の露光パスにおいて分離および露光されてもよく、ここで、1つの露光パスに対するベース線量は、通常の1.0倍であり、他の露光パスに対するベース線量は、通常の0.7倍である。図5Bの実施例において、ショット512、514、516、518、520、522、524、および526は、PEC補正の前に通常線量の1.0倍のベース線量を使用する、第1の露光パスに割り当てられ得る。ショット530は、PEC補正前に通常線量の0.7倍のベース線量を使用する、第2の露光パスに割り当てられ得る。

## 【0043】

重複ショットは、個々のショットに対する線量割り当てをサポートしない荷電粒子ビームライタを用いてさえも、通常の100%を上回るレジスト線量を創出するために使用され得る。図5Bにおいて、例えば、ショット514および512、ショット526および524、ショット520および522、ならびにショット518および516に対する輪郭は、重複するように設計され、周辺において通常線量よりも高い領域を創出することができる。これらの領域から放たれるより高いエネルギーは、ショット輪郭530と周辺ショットとの間の隙間を「充填する」ことができ、ショット530のサイズを減少させることを可能にする。

## 【0044】

図6A～図6Dは、集積回路設計における接触およびビアパターンに対して一般的に使用されるといった、正方形パターンを有する重複ショットの使用を例解する。図6Aは、レチクル上に形成されるべき所望のパターン602の実施例を例解する。図6Bは、従来、パターン602を形成するために使用することができる単一のVSBショット612を例解する。しかしながら、単一のショット612の使用は、エッジ傾斜を望ましくないほど低くし得る。図6Cは、本発明の実施形態の実施例を例解する。図6Cは、斜交平行線で陰影付けされるショット632、および元のパターン602の周辺領域の周囲の4つの追加のショット634を含む、5つのVSBショットを使用してショットされ得る。また、CPキャラクタは、単一のCPショットにおいて4つの矩形634によって例解されるパターンを露光せしめるように設計され、図6Cが1つのVSBショット632、および全ての形状634に対する1つのCPショットにおいて露光されることを可能にし得る。

10

20

30

40

50

周辺 C P ショットまたは V S B ショットの使用は、内部領域と比較して、周辺付近のピーク線量を増加させることによって、転写されたパターンの周辺全体のエッジ傾斜を増加させ、このため、パターンの異なる部分へ異なる線量を提供することができる。小さい周辺 C P ショットまたは V S B ショットは、より高い線量がショット 6 1 2 に対して使用された場合ほど多くはエリア線量を増加させず、より高い線量ショット 6 1 2 が単独で使用された場合と比較して、後方散乱を低減する。

#### 【 0 0 4 5 】

図 6 D は、本発明の別の実施形態の実施例を例解する。9つの領域が、図 6 D に例解される：a ) 大きい領域 6 4 2 、b ) 4 つの側部領域 6 4 4 、および c ) 4 つの角領域 6 4 8 。見ることができるように、全ての領域 6 4 4 および 6 4 8 は、領域 6 4 2 に重複する。これらの領域は、以下の方法のうちのいずれによっても露光することができる。

10

#### 【 0 0 4 6 】

- 領域 6 4 2 に対する 1 つ、4 つの領域 6 4 4 に対する 4 つのショット、および 4 つの角領域 6 4 8 に対する 4 つのショットを含む、9 つの別個の V S B ショット。

#### 【 0 0 4 7 】

- 5 つの V S B ショット。領域 6 4 2 は、1 つのショットによって露光される。残りの 4 つの V S B ショットに関して、各ショットは、1 つの側部領域 6 4 4 、および側部領域に隣接する 2 つの角領域 6 4 8 の集合を含む。これは、側部周辺に沿ってよりも角においてより高い線量を提供する。角付近の追加のピーク露光は、改善された精度および／またはエッジ傾斜を提供することができる。

20

#### 【 0 0 4 8 】

- 領域 6 4 2 に対する 1 つの V S B ショット、および 2 つの C P ショット（2 つの C P キャラクタの各々につき 1 つのショット）。1 つの C P キャラクタは、例えば、4 つの側部領域 6 4 4 を含むように設計されてもよく、第 2 の C P キャラクタは、4 つの角領域 6 4 8 を含むように設計されてもよい。この解決策は、角領域および非角側部領域の独立した線量制御を可能にする。

#### 【 0 0 4 9 】

2 つの C P ショットとともに 1 つの V S B ショットを使用する方法は、9 つのショット V S B または 5 つのショット V S B 方法のいずれよりも少ない露光時間を必要とするべきである。さらに、ショット 6 4 2 のサイズは、所望のパターン 6 0 2 よりも小さく修正されてもよい。

30

#### 【 0 0 5 0 】

図 6 C とともに上で説明される解決策は、個々のショットに対する線量割り当てを可能にしない荷電粒子ビームシステムを使用してさえ、実装され得る。本発明の一実施形態において、少数の線量、例えば、通常の 1 . 0 倍および通常の 0 . 6 倍といった 2 つの線量が選択されてもよく、これらの 2 つの線量の各々に対するショットは、2 つの別個の露光パスにおいて分離および露光されてもよく、ここで、1 つの露光パスに対するベース線量は、通常の 1 . 0 倍であり、他の露光パスに対するベース線量は、通常の 0 . 6 倍である。図 6 C の実施例において、ショット 6 3 2 は、P E C 補正の前に通常線量の 1 . 0 倍のベース線量を使用する、第 1 の露光パスに割り当てられ得る。4 つのショット 6 3 4 は、P E C 補正前に通常線量の 0 . 6 倍のベース線量を使用する、第 2 の露光パスに割り当てられ得る。このため、重複ショットは、個々のショットに対する線量割り当てをサポートしない荷電粒子ビームライタでさえも、通常の 1 0 0 % を上回るパターン線量を創出することができる。

40

#### 【 0 0 5 1 】

本発明の一実施形態において、通常線量またはほぼ通常線量ショット間の間隙は、通常線量の 5 0 % 未満を有するショットといった低線量ショットで充填され得るか、または部分的に充填され得る。

#### 【 0 0 5 2 】

本発明において説明および言及される計算は、種々の方法において達成することができ

50

る。一般的に、計算は、プロセス内、前プロセスまたは後プロセス方法によって達成することができる。プロセス内計算は、その結果が必要とされる時に計算を実施することを含む。前プロセス計算は、事前計算し、次いで、その後の処理ステップ中の後の取り出しのために結果を記憶することを含み、特に、何度も繰り返され得る計算に対して、処理性能を改善することができる。計算はまた、処理ステップから保留し、次いで、後の後処理ステップにおいて行うことができる。前プロセス計算の実施例は、後方散乱の種々の値に対する P E C 線量調節を事前計算することである。前プロセス計算の別の実施例は、所与の入力パターンまたは一組の入力パターン特徴と関連付けられる 1 つ以上の ショット に対する線量パターン情報の事前計算である、ショット群 である。ショット群 および関連付けられる入力パターンは、ショット群 を含む一組の ショット を、パターン再計算を伴わずに、入力パターンの追加のインスタンスに対して迅速に生成することができるよう、事前計算された ショット群 のライブラリに保存され得る。一部の実施形態において、事前計算は、ショット群 がレジストコーティングされた表面上で生成する線量パターンのシミュレーションを含んでもよい。他の実施形態において、ショット群 は、例えば、コレクトバイコンストラクション (correct - by - construction) 技術によって、シミュレーションせずに 決定する ことができる。一部の実施形態において、事前計算された ショット群 は、ショット のリストの形態で、ショット群 ライブラリに記憶することができる。他の実施形態において、事前計算された ショット群 は、特定のタイプまたは入力パターンのタイプに対して ショット を生成することができる、コンピュータコードの形態で記憶することができる。なお他の実施形態において、複数の事前計算された ショット群 は、表の形態で記憶することができ、テーブル内のエントリは、種々の入力パターン、またはパターン幅といった入力パターン特徴に対応し、かつ各表エントリは、ショット群 における ショット のリスト、またはどのように適切な組の ショット を生成するかに関する情報のいずれかを提供する。さらに、異なる ショット群 は、ショット群 ライブラリにおいて、異なる形態で記憶することができる。一部の実施形態において、所与の ショット群 が生成することができる線量パターンもまた、ショット群 ライブラリに記憶することができる。一実施形態において、線量パターンは、グリフと呼ばれる 2 次元 (X および Y) 線量マップとして記憶することができる。

#### 【0053】

図 7 は、シリコンウェハ上の集積回路といった表面を作製する際に使用するためのレチカルをどのように調製するかの例示的な概念的流れ図 750 である。第 1 のステップ 752 において、集積回路の物理的設計といった物理的設計が設計される。これは、論理ゲート、トランジスタ、金属層、および集積回路におけるものといった物理的設計において見出されるのに必要とされる他の項目を 決定すること を含むことができる。物理的設計は、直線、部分的に曲線、または完全に曲線であってもよい。次に、ステップ 754 において、光学近接補正が判断される。本開示の実施形態において、これは、入力として、ショット群 ライブラリ 788 からの事前計算された ショット群 のライブラリを取ることを含むことができる。これはまた、代替的に、または加えて、入力として、ステップ 768 においてステンシル 784 上で利用可能である複雑なキャラクタを含む、事前設計されたキャラクタ 780 のライブラリを取ることを含むことができる。本開示の実施形態において、O P C ステップ 754 もまた、ショット数 または書き込み時間の同時最適化を含むことができ、フラクチャリング動作、ショット 配置動作、線量割り当て動作を含むことができるか、あるいは、ショット順序 最適化動作もしくは線量マージン最適化、または他のマスクデータ準備動作も含むことができ、これらの動作の一部または全ては、单一のステップにおいて同時であるか、または組み合わされる。O P C ステップ 754 は、部分的に、または完全に曲線のパターンを創出することができる。O P C ステップ 754 の出力は、マスク設計 756 である。

#### 【0054】

マスクプロセス補正 (M P C) 758 は、任意に、マスク設計 756 において実施されてもよい。M P C は、従来の光学的リソグラフィマスクにおいて、約 100 nm よりも小

10

20

30

40

50

さいパターンと関連付けられる効果といった、非線形効果を補正するように、マスクに書き込まれるべきパターンを修正する。MPCはまた、EUVマスクに影響する非線形効果を補正するために使用されてもよい。MPC758が実施される場合、その出力は、マスクデータ準備(MDP)ステップ760に対する入力となる。

#### 【0055】

ステップ760において、フラクチャリング動作、ショット配置動作、線量割り当て動作、またはショット順序最適化を含み得る、マスクデータ準備動作が実施され得る。MDPは、入力として、マスク設計756またはMPC758の結果を使用することができる。本発明一部の実施形態において、MPCは、フラクチャリングまたは他のMDP動作の一部として実施することができる。他の補正是また、フラクチャリングまたは他のMDP動作の一部として実施することができ、可能な補正には、前方散乱、レジスト拡散、クーロン効果、エッチング、後方散乱、フォギング、ローディング、レジスト帶電、およびEUV中範囲散乱が含まれる。MDPステップ760の結果は、マスク書き込みステップ768における、1つまたは複数の露光パスのいずれかに対するショットリスト762である。OPCステップ754もしくはMDPステップ760のいずれか、または別個のプログラム786は、所与の入力パターンに対して使用され得る1つ以上のショット群を事前計算すること、およびこの情報をショット群ライラリ788に記憶することを含むことができる。1つのステップにおいて、OPCおよびマスクデータ準備の種々の動作のいずれかまたは全てを組み合わせることが、本開示において企図される。フラクチャリング動作を含むことができる、マスクデータ準備ステップ760はまた、マスク設計756に近く整合するマスク画像770を創出するように、事前計算されたショット群と整合させるための、パターン整合動作を含むことができる。マスクデータ準備760はまた、線量マージンを計算することを含むことができ、また、線量マージンを最適化することも含むことができる。一部の実施形態において、最適化は、生成されたパターンの内部よりも、生成されたパターンの周辺付近で高いピーク線量を生成するように、ショット線量を変化させることを含むことができる。他の実施形態において、生成されたショットは、最も近くの近傍のショットのショット輪郭間に間隙を有することができ、それにより、エリア線量が減少するが、間隙が十分に小さいところでは、それらは、その後生成されたマスク画像770において、レジストによって描出されない。別の実施形態において、マスクデータ準備760は、間隙のサイズを変更することによる最適化を含むことができる。別の実施形態において、マスクデータ準備760は、計算された線量マージンが既定の目標線量マージンを下回る場合、最初に判断された組のショットを訂正すること、および訂正された組のショットを用いて線量マージンを再計算することを含むことができる。マスクデータ準備760はまた、パターンがわずかに異なっている、表面上に形成されるべきパターンを入力すること、その数のパターンを形成するために使用されるべき一組のキャラクタを選択すること（一組のキャラクタは、ステンシルマスク上に適合し、一組のキャラクタは、恐らく複雑なおよびVSBキャラクタの双方を含み、一組のキャラクタは、様々なキャラクタ線量もしくは様々なキャラクタ位置に基づく）、または一組のキャラクタ内のキャラクタの部分露光を適用すること、またはショット数もしくは総書き込み時間を低減するようにキャラクタをドラッグすることを含むことができる。表面上の一組のわずかに異なるパターンは、基板上に実質的に同じパターンを生成するように設計することができる。また、一組のキャラクタは、既定の組のキャラクタから選択することができる。本開示の一実施形態において、マスク書き込みステップ768の間に迅速に選択され得るステップ780におけるステンシル上で利用可能なキャラクタは、特定のマスク設計に対して調製することができる。該実施形態において、一度マスクデータ準備ステップ760が完了すると、ステンシルは、ステップ784において調製される。本開示の別の実施形態において、ステンシルは、MDPステップ760の前、または同時に、ステップ784において調製され、特定のマスク設計から独立していてもよい。本実施形態において、ステップ780において利用可能なキャラクタ、およびステンシルレイアウトは、多くの潜在的なマスク設計756に対して一般的に出力されて、特定のOPCプログラム754または特定

10

20

30

40

50

の M D P プログラム 7 6 0 によって出力される可能性が高いパターン、またはメモリ、フラッシュメモリ、システムオンチップ設計といった、物理的設計 7 5 2 を特徴付ける特定のタイプの設計、または物理的設計 7 5 2 において設計される特定のプロセス技術、または物理的設計 7 5 2 において使用される特定のセルライブラリ、またはマスク設計 7 5 6 において異なる組のわずかに異なるパターンを形成し得る、任意の他の共通の特徴を組み込むように、ステップ 7 8 2 において設計される。ステンシルは、ステップ 7 6 0 において判断された、限られた数のキャラクタといった、一組のキャラクタを含むことができる。

#### 【 0 0 5 6 】

ステップ 7 6 4 において、近接効果補正 ( P E C ) 改良は、調節された線量を伴う最終ショットリスト 7 6 6 を創出するように、ショットリスト 7 6 2 上で実施することができる。最終ショットリスト 7 6 6 は、電子ビームライタシステムといった荷電粒子ビームライタを使用する、マスク書き込みステップ 7 6 8 において、表面を生成するために使用される。一部の実施形態において、P E C 改良 7 6 4 は、荷電粒子ビームライタによって実施することができる。マスク書き込みステップ 7 6 8 は、V S B アパー チャおよび複数の複雑なキャラクタの双方を含有するステンシル 7 8 4 を使用することができるか、またはV S B アパー チャのみを備えるステンシルを使用することができる。マスク書き込みステップ 7 6 8 は、単一の露光パスまたは複数の露光パスを含むことができる。電子ビームライタシステムは、ステップ 7 7 0 に示されるように、表面上にパターンを含むマスク画像を形成するように、ステンシルを通じて表面上に電子のビームを射影する。次いで、完成了表面は、ステップ 7 7 2 に示される、光リソグラフィ機械において使用することができる。最後に、ステップ 7 7 4 において、シリコンウエハといった基板が生成される。

10

#### 【 0 0 5 7 】

先で説明されたように、ステップ 7 8 0 において、キャラクタを、O P C ステップ 7 5 4 または M D P ステップ 7 6 0 に提供することができる。ステップ 7 8 0 はまた、キャラクタを、キャラクタおよびステンシル設計ステップ 7 8 2 、または ショット群事前計算 ステップ 7 8 6 に提供することができる。キャラクタおよびステンシル設計ステップ 7 8 2 は、入力を、ステンシルステップ 7 8 4 、およびキャラクタステップ 7 8 0 に提供する。

#### ショット

群事前計算 ステップ 7 8 6 は、情報を、ショット群ライブラリ 7 8 8 に提供する。また、ショット群事前計算 ステップ 7 8 6 は、入力として、物理的設計 7 5 2 またはマスク設計 7 5 6 を使用することができ、1 つ以上のショット群を事前計算することができ、これは、ショット群ライブラリ 7 8 8 に記憶される。

30

#### 【 0 0 5 8 】

ここで図 8 を参照すると、シリコンウエハといった基板上に直接書き込まれる表面をどのように調製するかの別の例示的な概念的流れ図 8 0 0 が示される。第 1 のステップ 8 0 2 において、集積回路の物理的設計といった物理的設計が設計される。これは、設計者が基板上へ転写したい理想的なパターンであり得る。次に、ステップ 8 0 4 において、種々のデータ準備 ( D P ) ステップが、基板書き込みデバイスへの入力データを準備するように実施される。ステップ 8 0 4 は、一組の V S B および / または複雑な C P ショットへのパターンのフラクチャリングを含むことができ、ショットの一部は、互いに重複し得る。他の補正もまた、フラクチャリングまたは他の D P 動作の一部として実施することができ、可能な補正には、前方散乱、レジスト拡散、クーロン効果、エッチング、後方散乱、フォギング、ローディング、およびレジスト帶電が含まれる。D P ステップ 8 0 4 または別個のプログラム 8 2 2 のいずれかは、所与の入力パターンのために使用することができる 1 つ以上のショット群を事前計算すること、およびこの情報をショット群ライブラリ 8 2 4 に記憶することを含むことができる。ステップ 8 0 4 はまた、事前計算されたショット群に整合させて、ステップ 8 0 2 において創出される物理的設計に近く整合するウエハ画像 8 1 4 を創出するように、パターン整合を含むことができる。パターン整合、線量割り当て、および等価性チェックの反復もまた、実施することができる。一実施形態において

40

50

、コレクトバイコンストラクション「決定性」計算が実施される、单一の反復が存在してもよい。データ準備 804 は、線量マージンを計算することを含むことができ、かつ線量マージンを最適化することも含むことができる。一部の実施形態において、最適化は、生成されたパターンの内部よりも、生成されたパターンの周辺付近で高いピーク線量を生成するように、ショット線量を変化させることを含むことができる。他の実施形態において、生成されたショットは、最も近くの近傍のショット間に間隙を有することができ、それにより、エリア線量が減少するが、間隙が十分に小さいところでは、それらは、その後生成されたウエハ画像 814 において、レジストによって描出されない。別の実施形態において、ステップ 804 は、間隙のサイズを変更することによる最適化を含むことができる。別の実施形態において、データ準備 804 は、計算された線量マージンが既定の目標線量マージンを下回る場合、最初に判断された組のショットを訂正すること、および訂正された組のショットを用いて線量マージンを再計算することを含むことができる。ステップ 804 の出力は、ショットリスト 806 である。10

#### 【0059】

ステップ 808 において、近接効果補正 (P E C) は、調節された線量を伴う最終ショットリスト 810 を創出するように、ショットリスト 806 上で実施することができる。最終ショットリスト 810 は、電子ビームライタシステムといった荷電粒子ビームライタを使用する、ウエハ書き込みステップ 812 において、ウエハ上の画像 814 といった表面上のパターンを創出するために使用される。一部の実施形態において、P E C 改良 808 は、荷電粒子ビームライタによって実施することができる。ウエハ書き込みステップ 812 は、V S B アパー・チャおよび複数の複雑なキャラクタの双方を含有するステンシル 808 を使用することができるか、または V S B アパー・チャのみを備えるステンシルを使用することができる。ウエハ書き込みステップ 812 において、電子ビームライタシステムは、表面上にパターンを含む画像 814 を形成するように、ステンシルを通じて表面上に電子のビームを射影する。ウエハ書き込みステップ 812 は、単一の露光パスまたは複数の露光パスを含むことができる。20

#### 【0060】

先で説明されたように、ステップ 818 において、キャラクタを、D P ステップ 804 に提供することができる。ステップ 818 はまた、キャラクタを、キャラクタおよびステンシル設計ステップ 820、またはショット群事前計算ステップ 822 に提供する。キャラクタおよびステンシル設計ステップ 820 は、入力をステンシルステップ 808、およびキャラクタステップ 818 に提供する。ショット群事前計算ステップ 822 は、情報を、ショット群ライブラリ 824 に提供する。また、ショット群事前計算ステップ 822 は、入力として、物理的設計 802 を使用することができ、1つ以上のショット群を事前計算することができ、これは、ショット群ライブラリ 824 に記憶される。30

#### 【0061】

ステップ 812 は、処理の各層に対して必要とされる際、繰り返し適用を含むことができ、潜在的に、一部は、図 7 と関連して説明される方法を使用して処理され、他は、図 8 に関して上で概略される方法を使用して処理されるか、または他は、シリコンウエハ上に集積回路を生成するための任意の他のウエハ書き込み方法を使用して生成される。40

#### 【0062】

本開示において説明されるフラクチャリング、M D P、O P C、M P C、およびP E C フローは、演算デバイスとして適切なコンピュータソフトウェアを有する汎用コンピュータを使用して実装することができる。大量の計算が必要とされるため、複数のコンピュータまたはプロセスまたはコアもまた、並行して使用されてもよい。一実施形態において、演算は、並行処理をサポートするように、フロー内の 1 つ以上の演算集約的ステップに対して、複数の 2 次元幾何学領域に細分化されてもよい。別の実施形態において、単一または複数のいずれかで使用される、特殊用途ハードウェアデバイスは、汎用コンピュータまたはプロセスまたはコアを使用するのを上回る速度で、1 つ以上のステップの演算を実施するために使用されてもよい。一実施形態において、特殊用途ハードウェアデバイスは、50

グラフィック処理ユニット (GPU) であってもよい。別の実施形態において、本開示において説明される最適化およびシミュレーションプロセスは、ショットの総数、もしくは総荷電粒子ビーム書き込み時間のいずれか、または何らかの他のパラメータを最小化するよう、可能な解決策を訂正および再計算する反復プロセスを含んでもよい。なお別の実施形態において、最初の組のショットは、ショット修正が必要とされないように、コレクトバイコンストラクション方法において判断されてもよい。

## 【0063】

本明細書は、具体的な実施形態に関して詳細に説明されているが、当業者は、前述の理解を得れば、これらの実施形態の改変、変形、および同等物を容易に着想し得るということが理解されるであろう。フラクチャリング、マスクデータ準備、および近接効果補正のための本方法に対するこれらおよび他の修正ならびに変形は、添付の請求項により具体的に記載される本主題の精神および範囲から逸脱することなく、当業者によって実践され得る。さらに、当業者は、前述の説明が、例に過ぎず、かつ制限を意図するものではないということを理解するであろう。本発明の範囲から逸脱することなく、ステップをこの明細書におけるステップに追加する、それから取り出す、または修正することができる。概して、提示されるいずれのフローチャートも、ある機能を達成するための基本的動作の1つの可能な順序を示すことを意図するに過ぎず、多くの変形が可能である。このため、本主題は、かかる修正および変形を、添付の請求項およびそれらの均等物の範囲内にあるとして、網羅するということが意図される。

10

【図1】

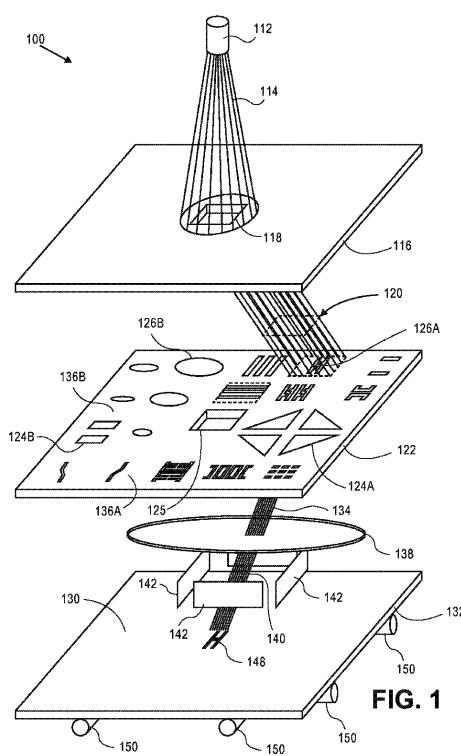
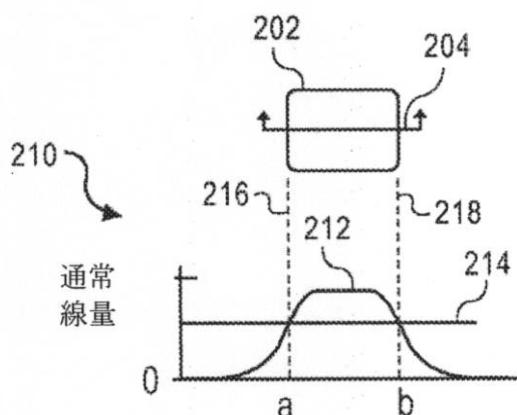
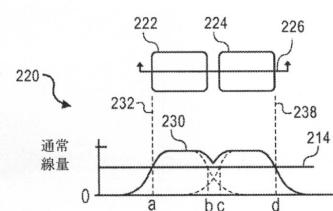


FIG. 1

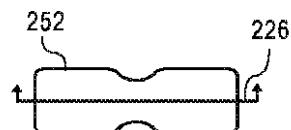
【図2A】



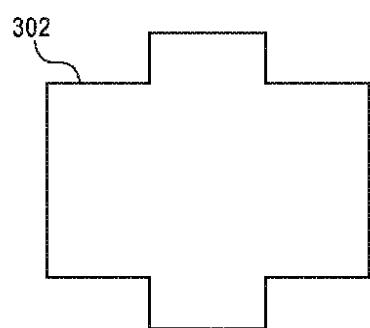
【図2B】



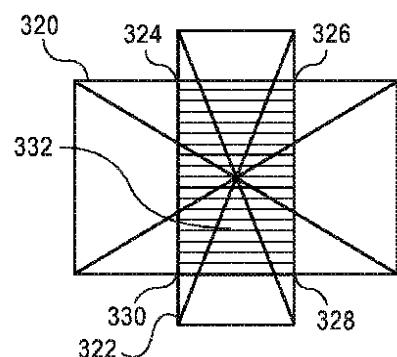
【図 2 C】

**FIG. 2C**

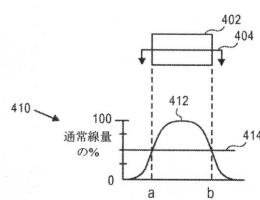
【図 3 A】

**FIG. 3A**

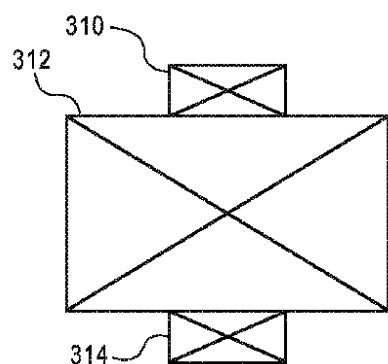
【図 3 C】

**FIG. 3C**

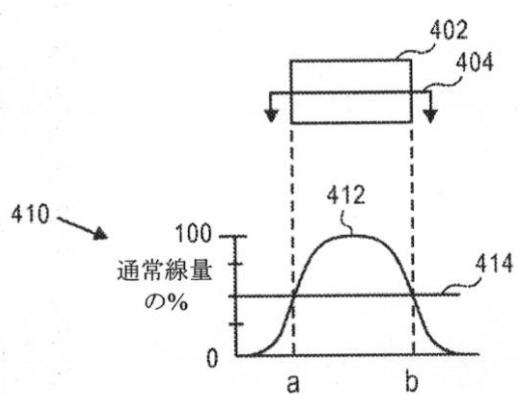
【図 4 A】



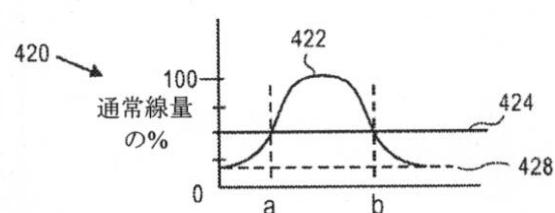
【図 3 B】

**FIG. 3B**

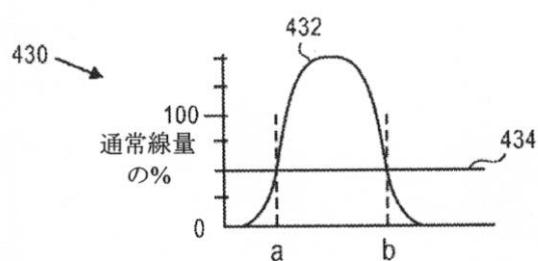
【図 4 B】



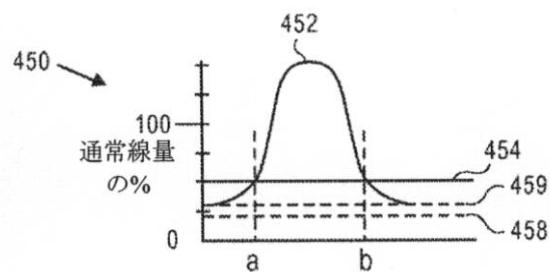
【図 4 C】



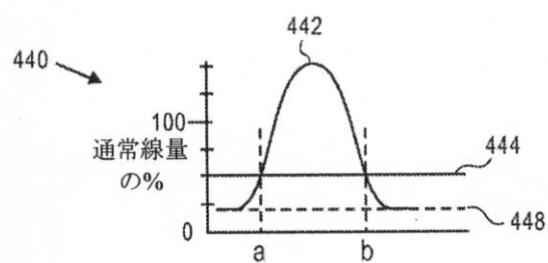
【図 4 D】



【図 4 F】



【図 4 E】



【図 5 A】

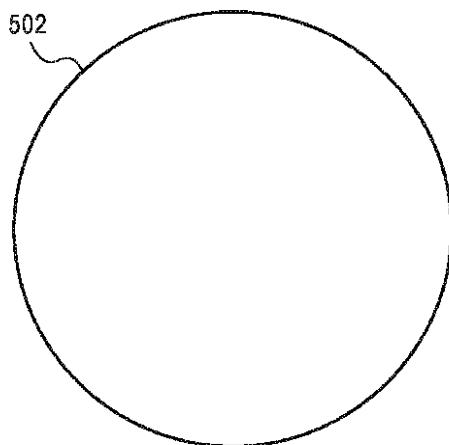


FIG. 5A

【図 5 B】

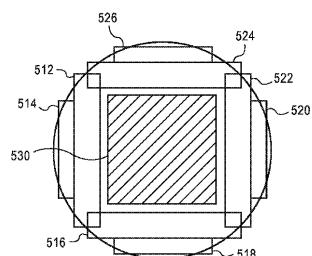


FIG. 5B

【図 6 A】

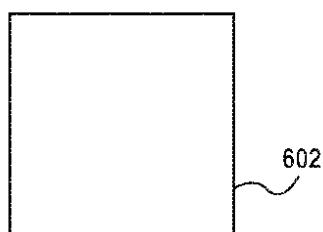


FIG. 6A

【図 6 B】

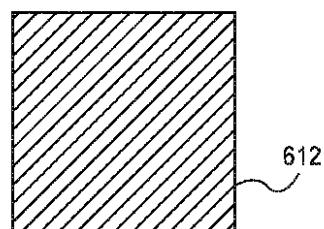


FIG. 6B

【図 6 C】

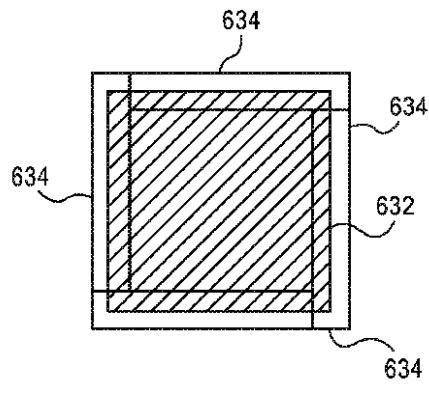


FIG. 6C

【図 6 D】

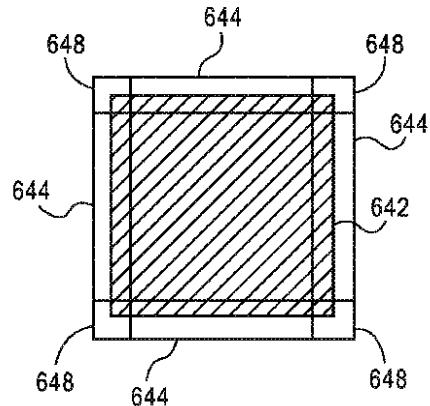
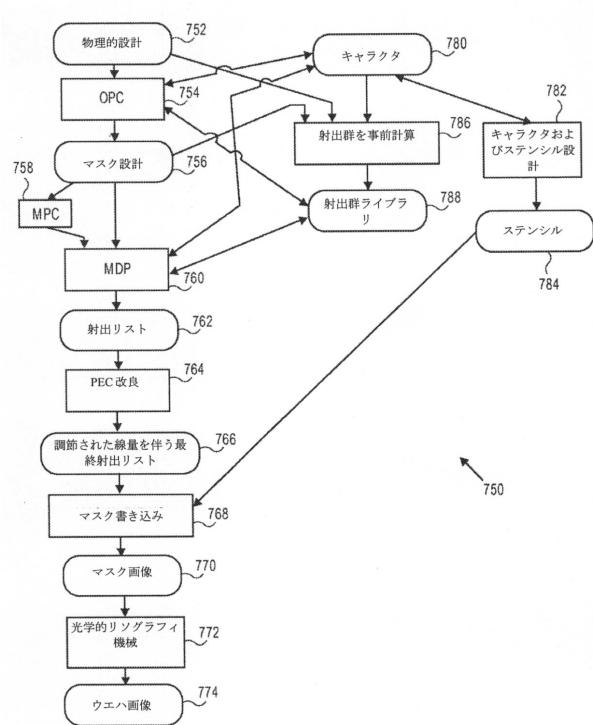
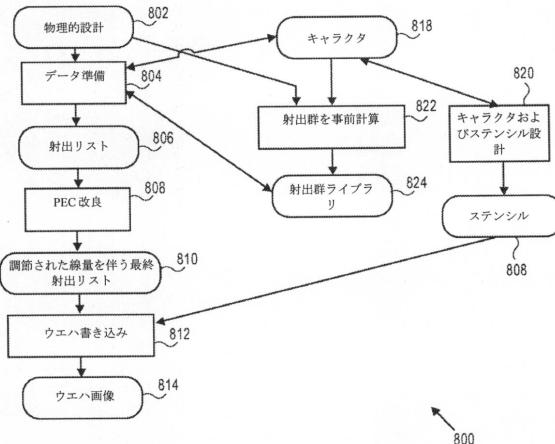


FIG. 6D

【図 7】



【図 8】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

H 01 L 21/30 541 M

(31)優先権主張番号 13/329,314

(32)優先日 平成23年12月18日(2011.12.18)

(33)優先権主張国 米国(US)

(72)発明者 ゼーブル,ハロルド・ロバート

アメリカ合衆国、94306 カリフォルニア州、パロ・アルト、デーク・アベニュー、4159

審査官 松岡 智也

(56)参考文献 特開2010-062562 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 01 L 21/027

G 03 F 7/20 - 7/24, 9/00 - 9/02