

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5405109号
(P5405109)

(45) 発行日 平成26年2月5日(2014.2.5)

(24) 登録日 平成25年11月8日(2013.11.8)

(51) Int.Cl.

G03F 1/70 (2012.01)
H01L 21/027 (2006.01)

F 1

G03F 1/70
H01L 21/30 502 P

請求項の数 21 (全 43 頁)

(21) 出願番号 特願2008-530041 (P2008-530041)
 (86) (22) 出願日 平成18年9月13日 (2006.9.13)
 (65) 公表番号 特表2009-508161 (P2009-508161A)
 (43) 公表日 平成21年2月26日 (2009.2.26)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2006/035985
 (87) 国際公開番号 WO2007/033362
 (87) 国際公開日 平成19年3月22日 (2007.3.22)
 審査請求日 平成21年9月14日 (2009.9.14)
 (31) 優先権主張番号 60/775,991
 (32) 優先日 平成17年9月13日 (2005.9.13)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 508074778
 ルミネセント テクノロジーズ インコーポレイテッド
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94303 パロ アルト イースト ベイシヨア ロード 2471 スイート 600
 (74) 代理人 100082005
 弁理士 熊倉 賢男
 (74) 代理人 100067013
 弁理士 大塚 文昭
 (74) 代理人 100086771
 弁理士 西島 孝喜
 (74) 代理人 100109070
 弁理士 須田 洋之

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 フォトリソグラフィのためのシステム、マスク、及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

フォトリソグラフィ処理において、異なる光学特性を備えた複数の異なるタイプの領域を有するフォトマスク上で使用されるマスクパターンを判断する方法であって、

目標パターンを該目標パターンの部分集合に分割する段階と、ここで、前記部分集合は、後続する動作中において前記部分集合の少なくともいくつかの並列処理を容易にするよう選択されたものであり、

フォトマスクの異なるタイプの領域に対応する複数の異なるタイプの領域を含み、前記目標パターンの前記部分集合の少なくとも1つに対応する第1のマスクパターンを準備する段階と、

前記第1のマスクパターンと、該第1のマスクパターンの少なくとも一部分を利用するフォトリソグラフィ処理から生じるウェハパターンの推定とに依存する関数の導関数を取ることによって得られる公式に従って計算される該関数の勾配を計算する段階と、

前記関数の前記勾配に少なくとも部分的に基づいて第2のマスクパターンを作成する段階と、ここで、該作成することには、前記関数のマグニチュードが減少するように、前記勾配に基づいて該第2のマスクパターンの反復的な修正が含まれ、

を含むことを特徴とする方法。

【請求項 2】

前記勾配は、フレシェ微分に対応することを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

10

20

前記勾配は、閉じた形の式であることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記勾配は、前記関数を計算することなく計算されることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

前記関数の出力は、更に、前記目標パターンの前記部分集合の前記少なくとも 1 つに依存することを特徴とする請求項 1 乃至 4 のうちいずれか一項に記載の方法。

【請求項 6】

別の目標パターンが、前記目標パターンを生成するために修正されることを特徴とする請求項 1 又は 5 に記載の方法。

10

【請求項 7】

前記目標パターンの多角形ベースの表現を含むドキュメントを該目標パターンに変換する段階を更に含むことを特徴とする請求項 1 又は 5 に記載の方法。

【請求項 8】

前記目標パターンのフォーマットが、GDSII 又は OASIS に適合することを特徴とする請求項 1 又は 5 に記載の方法。

【請求項 9】

前記目標パターンの縁部ベースの表現を含むドキュメントを該目標パターンに変換する段階を更に含むことを特徴とする請求項 1 又は 5 に記載の方法。

【請求項 10】

前記関数は、前記フォトリソグラフィ処理のモデルに少なくとも部分的に依存し、該モデルは、レジストモデルを含むことを特徴とする請求項 1 乃至 9 のうちいずれか一項に記載の方法。

20

【請求項 11】

前記作成する段階は、

前記勾配に従って前記第 2 のマスクパターンの第 2 の表現を生成するために前記第 1 のマスクパターンの第 1 の表現を修正する段階と、

前記第 2 の表現から第 2 のマスクパターンを抽出する段階と、

を含む、

ことを特徴とする請求項 1 乃至 10 のうちいずれか一項に記載の方法。

30

【請求項 12】

前記第 2 のマスクパターンは、直線的であるように制約されることを特徴とする請求項 11 に記載の方法。

【請求項 13】

前記第 1 の表現は、該第 1 の表現の値が前記第 1 のマスクパターンの平面内の最も近い輪郭からの距離に対応する距離関数であることを特徴とする請求項 11 に記載の方法。

【請求項 14】

前記第 1 の表現は、前記平面内の輪郭上に所定の値を有することを特徴とする請求項 13 に記載の方法。

【請求項 15】

前記第 2 の表現を、それが、該第 2 の表現の値が前記第 2 のマスクパターンの平面内の最も近い輪郭からの距離に対応する距離関数であるように調節する段階を更に含むことを特徴とする請求項 14 に記載の方法。

40

【請求項 16】

前記第 2 のマスクパターンを所定の光学近接効果補正規則に従って判断される第 3 のマスクパターンと組み合わせる段階を更に含むことを特徴とする請求項 1、5、10 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 17】

前記関数は、前記第 1 のマスクパターンの異なる領域に異なる相対重みを割り当てるメリット関数であることを特徴とする請求項 1、5、10 のいずれか一項に記載の方法。

50

【請求項 18】

前記関数は、前記フォトリソグラフィ処理に対応する処理ウィンドウの推定を含むメリット関数であることを特徴とする請求項 1、5、10 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 19】

前記関数は、焦点外れの条件を含む前記フォトリソグラフィ処理のモデルを含むメリット関数であることを特徴とする請求項 1、5、10 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 20】

前記関数は、前記第 1 のマスクパターンの望ましさの程度を示すメリット関数であることを特徴とする請求項 1、5、10 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 21】

10

少なくとも 1 つのプロセッサと、

少なくとも 1 つのメモリと、

前記メモリに記憶され、かつ前記プロセッサによって実行されるように構成され、フォトリソグラフィ処理において異なる光学特性を備えた複数の異なるタイプの領域を有するフォトマスク上で使用されるマスクパターンを判断するための少なくとも 1 つのプログラムモジュールと、

を含み、

少なくとも前記プログラムモジュールが、

目標パターンを該目標パターンの部分集合に分割するための命令と、ここで、前記部分集合は、後続する動作中において前記部分集合の少なくともいくつかの並列処理を容易にするよう選択されたものであり、

20

フォトマスクの異なるタイプの領域に対応する複数の異なるタイプの領域を含み、前記目標パターンの前記部分集合の少なくとも 1 つに対応する第 1 のマスクパターンを準備するための命令と、

前記第 1 のマスクパターンと、該第 1 のマスクパターンの少なくとも一部分を利用するフォトリソグラフィ処理から生じるウェハパターンの推定とに依存する関数の導関数を取ることによって得られる公式に従って計算される該関数の勾配を計算するための命令と、

前記関数の前記勾配に少なくとも部分的に基づいて第 2 のマスクパターンを作成するための命令と、ここで、該作成することには、前記関数のマグニチュードが減少するよう前記勾配に基づいて該第 2 のマスクパターンの反復的な修正が含まれ、

30

を含む、

ことを特徴とするコンピュータシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

技術分野は、フォトリソグラフィ処理に使用されるフォトマスクとしても公知のマスクに関し、より具体的には、歪み又はアーチファクトが最小のウェハパターンの生成を可能にし、かつ得られる輪郭を直線パターンに制約する機能を可能にする最適フォトマスクパターンを見つける方法に関する。

【背景技術】

40

【0002】

リソグラフィ処理は、「集積回路（IC）」及び「微小電気機械システム（MEMS）」を製造する本質的な技術を代表するものである。パターンを構成する様々な領域を全体的に取り囲み、封入し、及び／又はその境界を定める 1 組の輪郭、線、境界、縁部、曲線、その他（輪郭）によってパターンが典型的に形成される集積回路ダイ又は半導体ウェハ又はチップ上に、リソグラフィ技術を使用してパターン、幾何形状、特徴部、形状、その他（パターン）を形成する。

【0003】

ダイ及びウェハ上の特徴部の高密度化に対する要求は、最小寸法の減少した回路設計をもたらしている。しかし、光の波動性により、寸法がフォトリソグラフィ処理で使用され

50

る光の波長に相当するサイズに近づく時に、得られるウェハパターンは、対応するフォトマスクパターンから逸脱し、不要な歪み及びアーチファクトが伴っている。

【0004】

「光近接効果補正（O P C）」のような技術は、フォトマスクパターンを適切に予め歪ませることによってこの問題を解決しようとするものである。しかし、このような手法では、可能なフォトマスクパターンの全スペクトルが考慮されておらず、従って最適以下の設計をもたらす。得られるパターンは、全く正しく印刷しないか又は確実に印刷しない場合がある。従って、目標パターンに忠実なウェハパターンの確実な生成をもたらす最適フォトマスクパターンを作成するためのシステム及び方法に対する必要性が存在する。

【発明の開示】

10

【0005】

本発明の態様は、半導体ウェハ、ドライブヘッド、光学構成要素、又は他の対象物のような加工物上にパターンを生成する際の使用に向けて最適化されたフォトマスクパターンを判断する方法を提供することができる。このパターンは、メリット関数を使用して望ましい目標パターンに対して最適化することができる。

【0006】

態様は、G D S I I 又はO a s i s のような階層的多角形表現で与えられる初期フォトマスクパターン又は目標パターンと、G D S I I 又はO a s i s のような階層的多角形表現で与えられる出力フォトマスクパターンとを提供することができる。態様は、パターンの全て又は一部分の多角形表現と関数表現の間で変換される上述のパターンのいずれも提供することができる。

20

【0007】

態様は、マスク関数を使用して表現される上述のパターンのいずれかの全て又は一部分を提供することができる。例示的な実施形態では、2次元関数を使用して輪郭を表現することができる。例えば、関数は、その値がパターンの輪郭までの距離を表す距離関数とすることができる。一部の例においては、関数は、レベル設定関数とすることができます。

【0008】

態様は、点の格子のようなフォトマスクパターンの全て又は一部分の表面を横切る点での関数値として記憶される表現を提供することができる。例えば、表現は、メモリにアレイとして記憶することができる。態様は、3つよりも多い出力値又は出力値の範囲がフォトマスクパターンの異なる領域を表す関数値を提供することができる。例えば、関数値を使用して、関数が評価される格子点の間に輪郭がある時のように格子サイズよりも高い解像度で輪郭の位置を示すことができる。

30

【0009】

態様は、処理に向けてブロックに分割されるフォトマスクパターン又は目標パターンを提供することができる。例えば、多角形表現は、ブロックに分割することができる。例えば、1ミクロン×1ミクロンから10ミクロン×10ミクロンまで又はそれよりも大きいブロックサイズ、又はそこに含まれるあらゆる範囲を使用することができるが、これは、パターン内の反復する構造又は他の設計上の特徴部のサイズにより変わる場合がある。態様は、ブロックに含まれることになる重なり合うハロー領域を提供することができる。例えば、ハロー領域は、193 nm波長又は他の波長の光のようなフォトリソグラフィに使用される光の波長に基づいて判断することができる。例えば、ハロー領域は、数波長の程度の各方向の重複をもたらすことができる。一部の実施形態では、各方向の重複は、0.5ミクロンから2ミクロンの範囲、又はそこに含まれるあらゆる範囲内とすることができる。一部の実施形態では、ハロー領域に対する距離は、ブロックの幅又は高さの5%から10%の範囲又はそこに含まれるあらゆる範囲にあるとすることができる。以上は例であり、他の実施形態では、他の範囲を使用することができます。例示的な実施形態では、フォトマスクパターンは、100万を超えるか又は1000万さえも超えるゲートを有することができ、かつ100万を超えるブロックに分割することができる。

40

【0010】

50

態様は、最適化に向けて多角形表現から関数表現に変換されるブロックを提供することができる。態様は、メリット関数の導関数又は勾配のようなメリット関数又はメリット関数の態様の値を求める際に使用されるパターンの全て又は一部分の関数表現を提供することができる。変更関数を判断してパターンの関数表現に追加することができる。例えば、変更関数は、パターンの全て又は一部分に対して各格子点での関数表現に追加される小さな変化値を与えることができる。態様は、反復的に修正される関数を提供することができる。態様は、毎回の反復に対して、又は選択された反復に対して周期的に、又は最終マスクパターンが選択される終了時に、正則化又は直線的射影を提供することができる。態様は、メリット関数に関して望ましい閾値が達成されるまで、変更関数が十分に小さくなるまで、望ましい回数の反復が行われるまで、又はこれら又は他の判断基準の何らかの組合せで、続行される反復を提供することができる。

10

【0011】

態様は、上述の方法のいずれかを用いて処理されるブロックを提供することができる。一部の実施形態では、ブロックは、複数のプロセッサ、ブレード、又はアクセラレータカードを使用して並列に処理することができる。態様は、半導体素子又は他の加工物の層全体に対してマスクパターンを準備するために処理後に組み合わされるブロックを提供することができる。これらの態様は、効率的全チップ最適化を提供することができる。

【0012】

態様は、上述の方法のいずれかによって判断されたフォトマスクパターンに従ってフォトマスクを製造する方法を提供することができる。態様は、上述の方法のいずれかによって判断されたパターンを有するフォトマスクを提供することができる。

20

【0013】

態様は、上述のフォトマスクのいずれかを使用して半導体ウェハ又は集積回路素子を製造する方法を提供することができる。態様は、上述のマスクのいずれかを使用して半導体ウェハ又は他の加工物上のフォトレジストにパターンを作成する段階、並びにこのような領域に基づいて材料をエッチングし、ドーピングし、又は堆積させて集積回路又は他の構造体を形成する段階を提供することができる。態様は、ダイにスクライピングされて、集積回路素子又は他の素子を形成するためにパッケージ化されるこのようなウェハ又は他の加工物を提供することができる。態様は、上述の方法又はフォトマスクのいずれかを用いて製造される半導体ウェハ又は集積回路素子を提供することができる。

30

【0014】

態様は、上述のパターンの表現のいずれかを記憶するメモリ内の設計ファイル又はデータ構造を提供することができる。

【0015】

態様は、上述の方法又は方法段階のいずれかのための又は上述のパターン、表現、ファイル、又はデータ構造のいずれかを記憶又は処理するための命令を有するコンピュータ可読媒体を提供することができる。

【0016】

態様は、上述の方法又は方法段階のいずれかのための、かつ上述のパターン、表現、ファイル、又はデータ構造のいずれかを記憶又は処理するための命令を実行するためのプロセッサを有するコンピュータシステムを提供することができる。一部の実施形態では、コンピュータシステムは、プロセッサ、アクセラレータ基板、メモリ、ストレージ、及びネットワークインターフェースのうちの1つ又はそれよりも多くを含むことができる。態様は、メモリ又はストレージに記憶されて上述の方法又は方法段階のいずれかに従って1つ又はそれよりも多くのプロセッサ又はアクセラレータによって処理される上述のパターン、表現、ファイル、又はデータ構造のいずれかを提供することができる。態様は、フォトマスクパターンの全て又は一部分を並列に又は重なり合うハロー領域を含む場合がある上述のブロックで処理する複数のコンピュータシステム、サーバブレード、プロセッサ、又はアクセラレータを有するシステムを提供することができる。態様は、フォトマスクパターン又は設計ファイルを並列処理に向けて上述のブロックに分割し、処理済みブロックを組

40

50

み合わせて、半導体素子又は他の加工物の層全体に対するマスクパターンのためのフォトマスクパターン又は設計ファイルを作成する初期コンピュータシステム又はプロセッサを提供することができる。

【0017】

本発明の上述の態様の各々は、単独で又は本発明の他の態様の1つ又はそれよりも多くのあらゆる組合せで使用することができるが理解される。上述の態様は、例に過ぎず、以下に示す説明又は特許請求の範囲を限定する意図はない。

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

本明細書で理解されるように、用語「ウェハパターン」は、半導体又は他の材料基板、
例えば、デジタル又はアナログ回路構造又は相互接続上に形成されるあらゆる多角形（直線的又は非直線的）又は他の形状又はパターンを含むと理解される。 10

【0019】

図1は、フォトリソグラフィ処理を用いてウェハ上にプリントされる例示的目標パターン100を例示する図である。目標パターン100は、輪郭102によって囲まれた領域101を含む。例示的な実施形態では、領域101内の区域は、フォトレジストを表し、領域101の外側の区域は、フォトレジストがないことを示している。

【0020】

図2は、フォトリソグラフィ処理を用いてプリントされるより複雑な例示的目標パターン200を例示する図である。目標パターン200の複雑さは、集積回路設計を表現するパターンを更に例示するものである。 20

【0021】

図3は、本発明の実施形態による、フォトリソグラフィ処理を用いてウェハ上にプリントされる図2の例示的目標パターン200の詳細な目標パターン300を例示する図である。

【0022】

図4は、フォトリソグラフィ処理においてウェハパターンをプリントする領域401を含む（x、y）平面における例示的なフォトマスクパターン400を例示する図である。実施形態では、領域401内の区域は、クロムを表し、領域401の外側の区域は、フォトマスク上のガラス以外の材料を表している。代替的に、領域401内の区域は、クロム以外の材料を表し、領域401の外側の区域は、フォトマスク上のガラス以外の材料を表している。 30

【0023】

図5は、フォトリソグラフィ処理においてフォトマスクパターン400を用いてウェハ上にプリントすることができると考えられるものを例示する例示的なウェハパターン500を示す図である。例示的な実施形態では、領域501内の区域は、フォトレジストを表し、領域501の外側の区域は、フォトレジストがないことを表している。尚、ウェハパターン500は、フォトリソグラフィ処理によって作成された歪み及びアーチファクトにより目標パターン100と異なるものである。図6は、本発明の実施形態による、領域を含むより複雑な例示的なフォトマスクパターン600を例示する図である。図7は、本発明の実施形態による、フォトリソグラフィ処理において図6の例示的なフォトマスクパターン600を用いてウェハ上にプリントすることができると考えられるものを例示する例示的なウェハパターン700を示す図である。例示的な実施形態は、フォトリソグラフィ処理において使用された時、対応する目標パターンで忠実なウェハパターンを生成するフォトマスクパターンを作成することができ、そのウェハパターンは、望ましくない歪み及びアーチファクトが少なくなっている。 40

【0024】

輪郭を用いてフォトマスクパターン内に領域を形成するために、このような輪郭の数学的表現を用いる。図8aは、フォトマスクパターン400内の領域を取り囲む輪郭を形成することによって例示的なフォトマスクパターン400を表す関数（x、y）800を

例示している。図 8 b は、フォトマスクパターン 600 の領域を取り囲む輪郭を形成することによって図 6 の例示的なフォトマスクパターン 600 を表す $(x, y) 801$ を例示する図である。 (x, y) は、暗に、2 次元関数が 1 組の輪郭を形成するために使用されているという意味で輪郭を定める関数とすることができる。関数 (x, y) は、輪郭に沿った関数の値に従って輪郭を定める実数値関数と考えられることが多い。例えば、一実施形態では、マスク関数 (x, y) は、以下である特性を有する。

1. $(x, y) = 0$ 、領域の境界に沿って至る所、
2. $(x, y) > 0$ 、領域の「内側」(例えば、マスクのクロム部分に対応する領域)、
3. $(x, y) < 0$ 又は負、領域の「外側」(例えば、マスクの透明な水晶部分に対応する領域)

【0025】

この場合、輪郭は、「レベル設定」、すなわち、 $(x, y) = 0$ になるような (x, y) 平面内の値によって形成される。図 8 c は、レベル設定関数 800 を (x, y) 平面上に平行なゼロ平面 802 と交差させることによるレベル設定を例示している。また、フォトマスクのこのような表現を区域ベースの表現、一実施形態では、ピクセルベースの表現という場合がある。

【0026】

他の実施形態では、上述したもの以外のフォトマスクの様々な関数表現をフォトマスクを表すために使用することができ、かつ本発明の範囲に該当すると思われる。フォトマスク輪郭を形成する 2 次元関数をフォトマスク関数又はマスク関数と称している。

【0027】

本発明の態様は、目標パターンを考えて、 $(x, y) = 0$ がフォトマスク上のパターンの領域の境界と解釈された時に、目標パターンと比較して、歪み及びアーチファクトが殆どなくウェハパターンを生成するフォトマスクの設計を可能にする 1 組の輪郭を形成するように (x, y) を見つけることであり、ウェハパターンは、フォトマスクを使用してフォトリソグラフィ処理から生じる。マスク関数 (x, y) によって形成されたこの 1 組の輪郭が最適である範囲は、本明細書では「ハミルトニアン」H とも称している「メリット関数」として公知である汎関数を使用して計算している。マスク関数 (x, y) のハミルトニアン H は、プリントウェハパターンと望ましい目標パターンとの類似性の程度を示すものであり、プリントウェハパターンは、 (x, y) によって形成された輪郭によって得られたフォトマスクを使用したフォトリソグラフィ処理から生じる。(従来的な力学又は量子力学で使用されるハミルトニアン関数との類似性の一例として「メリット関数」を「ハミルトニアン」と称する。)

【0028】

数学的には、ハミルトニアン H は、関数を実数にマップする汎関数である。

【数 1】

$$H: C(\mathbb{R}^2) \rightarrow \mathbb{R}$$

任意的に、ハミルトニアンは、いくつかの実パラメータにも依存するか、又は以下で説明するように、複数のマスク関数の汎関数である。ハミルトニアンは、最適な解が最小値を有するように選択され、すなわち、ハミルトニアンを最小にするマスク関数を見つけるように試みる。適切なハミルトニアンが指定されると、最適に設計されたフォトマスクを見つけるという問題は、ハミルトニアンを最小にするマスク関数を見つけるという問題と同等であるということになる。また、ハミルトニアン汎関数の形は、最適化の問題から生じる輪郭を直接的に判断することになるので、適切なハミルトニアンの指定は、本発明の原則を適用する際の貴重な段階であるということになる。

【0029】

尚、ハミルトニアン汎関数を最小にすることに関する問題の説明は、説明上のものであ

10

20

30

40

50

り、限定としてのものではない。同等の代案が、図示する説明に基づいて当業者に利用可能である。例えば、この問題は、最小化の問題ではなく最大化の問題として公式化することができる。代替的に、例えば、封入領域の内側の点での関数値に負の値を割り当て、かつ封入領域の外側の点に正の値を割り当てるこによって異なるマスク関数表現を選択することができる。代替的に、値 $(x, y) = 0$ を用いて、ガラス領域を説明するようにクロム領域 $(x, y) = 1$ を説明することができ、かつ中間値を用いて、ガラスで覆われている特定のピクセル区域の部分を説明することができる。更に別の代案は、ゼロレベル設定以外のレベル設定を選んで輪郭を指定するか、又は輪郭の位置を示す値を定める関数値を一部の場合には輪郭の位置を示す値を定める別の関数に従って変動させることであると考えられる。

10

【0030】

図9は、本発明の実施形態による、特定のハミルトニアン関数を最小にするためにフォトマスクパターンの輪郭を時間的に変化させる方法を例示する流れ図である。図9は、特定の目標パターンの最適なフォトマスクを定める関数を見つけるために使用される段階を示している。この関数は、度重なる洗練で結果的に良好な「メリット」値が得られ、すなわち、ハミルトニアンHが減少するように初期の見当を反復的に洗練することによって見つけるものであり、Hは、目標パターン、考慮中の特定のフォトリソグラフィ処理、フォトマスク製造に関する制約条件、及び以下で詳細に説明する他の要素に依存する。詳細を示す前に図9の段階を簡単に説明する。

【0031】

1組の初期入力から始めるが(901)、これは、目標パターン、特定の考慮中のフォトリソグラフィ処理を説明するパラメータ、マスク製造上の制限事項、及び以下で詳細に説明する他の要素を含むことができる。 $i = 0$ で初期化して(902)、初期マスク関数

$i(x, y) = 0(x, y)$ を選択する(903)。 $i(x, y)$ が問題ないか否かを判断する(904)(この判断に関しては以下で詳述)。 $i(x, y)$ が問題なしと判断された(905)場合、最小化の結果として $i(x, y)$ を出力して(906)終了する。問題ありの場合は(907)、 i を1つ増分して(908)、 $i(x, y)$ が問題のない「メリット」を有すると判断する(907)まで繰返し、改良分を取得するよう(次の i を選択する段階に対しては以下で詳述)次の i を選択し(909)、最小化の結果として最終 $i(x, y)$ を出力する(906)ことによって終了する。初期マスク関数 0 は、毎回の反復を通じて変化するために、時間と共に漸進的に変化すると考えることができ、かつ空間及び時間(時間を示す t)の連続的に漸進的に変化する「時間依存マスク関数」 (x, y, t) の個別の断片として各連続的な関数 $i(x, y)$ を考えることが慣習的である。

20

【0032】

図10aは、アルゴリズムの約500回の反復後、マスク関数 $i(x, y)$ に対応するフォトマスクパターン1002を例示している。図10bは、上述の最適化アルゴリズムによって出力された最終マスク関数に対応するフォトマスクパターン1003を例示している。図10cは、フォトリソグラフィ処理において図10bのフォトマスクパターン1003で作成されるようなウェハパターン1004を例示している。

30

【0033】

図10dは、図6に示す初期フォトマスク600に対応する図8bに示す初期関数801に基づいて、上述の最適化アルゴリズムによって出力された最終マスク関数 $i(x, y)$ 1005を例示している。図10eは、図10dの関数1005に対応するフォトマスクパターン1006を例示している。図10fは、フォトリソグラフィ処理において図10のフォトマスクパターン1006で作成されるようなウェハパターン1007を例示している。

40

【0034】

一実施形態では、小さな変化 $i(x, y)$ を現在のマスク関数 $i(x, y)$ に追加することによって後続関数 $i_{+1}(x, y)$ を選択するが、 $i(x, y)$ は、 $i(x, y)$

50

)と同じドメインにわたる別の関数である。

【数2】

$$\psi_{i+1}(x, y) = \psi_i(x, y) + \Delta_i(x, y) \quad (1)$$

【0035】

実施形態では、小さな変化 $\Delta_i(x, y)$ を現在のマスク関数 $\psi_i(x, y)$ に追加し、次に、得られる合計を輪郭が直線的であるように制約する部分空間上に射影することによって後続関数 $\psi_{i+1}(x, y)$ を選択する(射影に関して以下で詳述)。図10gは、図4に示す初期フォトマスク400に基づいて上述のアルゴリズムによって出力された直線的フォトマスクパターン1008を例示している。図10hは、フォトリソグラフィ処理において図10gの直線的フォトマスクパターン1008で作成されたウェハパターン1009を例示している。

10

【0036】

本発明の一実施形態では、 $\Delta_i(x, y)$ を以下のように計算する。

【数3】

$$\Delta_i(x, y) = \Delta t \cdot \left\{ \frac{\partial H}{\partial \psi} \Big|_{\psi=\psi_i} + R(\psi_i) \right\} \cdot |\nabla \psi_i| \quad (2)$$

20

ここで、 Δt は、以下「時間ステップ」と呼ぶ小さな定数であり、 $H / \Delta t$ は、ハミルトニアン H のフレシェ微分であり、 $R(\psi)$ は、数値的安定性を改善するためにマスク関数の漸進的に変化を若干修正する「正則化項」であり、 $|\nabla \psi_i|$ は、関数 $\psi_i(x, y)$ の勾配のノルムである。これらの項の各々、並びに射影操作を以下でより詳細に説明する。

【0037】

本発明の更に別の実施形態では、上述の方程式(2)の連続時間バージョンを使用して、以下の方程式に従って時間依存レベル設定関数を時間的に変化させる。

【数4】

$$\frac{\partial}{\partial t} \psi(x, y, t) = \left\{ \frac{\partial H}{\partial \psi} + R(\psi) \right\} \cdot |\nabla \psi| \quad (3)$$

30

これは、方程式(2)で説明した離散化とは異なるが当業者には公知の様々な技術を用いて計算的に実行することができる。

【0038】

実施形態では、かつ計算を容易にするために、マスク関数 $\psi_i(x, y)$ は、 (x, y) 平面内の 1 組の m 個の点にわたって個別の 1 組の m 個の関数値によって表される。一実施形態では、この 1 組の m 個の点は、フォトマスクを表す区域にわたる格子を含み、この場合、これらの点は、ピクセルとえることができる。代替的に、この 1 組の m 個の点は、フォトマスクを表す区域内の異なる構成に従って選択される。このような考え方から、マスク関数 $\psi_i(x, y)$ 及び「小さな変化」関数 $\Delta_i(x, y)$ は、この 1 組の m 個の点での値に依存し、従って、「解空間」内の m 次元ベクトルと考えることができる。図11は、マスク関数を表す、 m 次元ベクトルの最初の 2 つの成分の可能な値を例示するもの、すなわち、解空間の 2 次元部分空間を例示している。図示の部分空間においては、 H を (x_1, y_1) 及び (x_2, y_2) の関数としてプロットしている。この例に対しては、 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) は、いずれも、-1 と +1 との間で変動する可能性がある。この例における最小値は、 $(x_1, y_1) = 0.3$ 及び $(x_2, y_2) = -0.2$ で発生することが分る。関数 $\psi_0(x, y)$ での初期の見当で始まって、最小値に近い新しい

40

50

位置を取得するために「最も傾きが大きい下降」の方向に小さなステップを取ることによって最小値に近づく。この過程を繰り返すことによって、迅速に最小値に到達する。先の好ましい実施形態に従って関数を時間的に変化させることは、上記と類似のものであるが、「解空間」全体の次元性が2より遙かに大きい点を除く（例えば、それは、離散化バージョンにおける格子点mの個数に等しいか、又は連続バージョンにおいて無限とすることができる）。

【0039】

上記で説明した内容から、ハミルトニアンを実際に計算しなくても最小値を見つけることができる事が分る。しかし、現在のマスク関数の「メリット」を判断するためにハミルトニアンを計算することは有用であろう。例えば、アルゴリズムが最適な解に収束する前でさえも、十分な解が見出された場合は反復を停止することが適切であると考えられる。同様に、時には（数回の反復毎に）又はマスク関数の漸進的变化によって後続マスク関数において作成されるのが小さな変化のみである時のような適切な解が見出された可能性があると思われる時に限りハミルトニアンを検査したいと思うであろう。

10

【0040】

この時点で、図9の流れ図の段階をより詳細に吟味し直すものとする。

【0041】

入力

アルゴリズムは、1組の入力、そのうちの特定のフォーマット（パターンI/Oフォーマット）で得られた目標パターンで始まる（901）。目標パターンは、以下を含むがこれらに限定されない様々なフォーマットで示すことができる。

20

1. ビットマップ、JPEG（共同フォトリソグラフィック専門家群）のような画像フォーマット、又は他の画像フォーマット、

2. GIF、GDSII、Oasis、OpenAccessのような半導体業界フォーマット、又は

3. 「電子設計自動化（EDA）」レイアウトデータベースのような登録商標権を有するフォーマット。

【0042】

目標パターン自体は、様々な形式のコンテンツを表すものであり、例えば、次の通りである（以下に限定されるものではないが）。

30

1. 特定のIC形式のICデザインのうちの1つ又はそれよりも多くのレベル、

2. IC以外の用途（例えば、MEMSデバイス、又はディスクドライブヘッド、又は光学構成要素）のためのパターン、

3. 標準的セル又はDRAMビットセルなどのようなより大きいデザインの一部として使用することができるパターン。

【0043】

アルゴリズムでは、規則として指定することができる目標パターン又はマスクパターンの制約条件（臨界寸法、公差など）、及び例えば対象とされる最大又は最小区域又は臨界領域を指定する更に別の画像として指定された目標パターン又はマスクパターンの制約条件（「パターンI/Oフォーマット」で）を含む（がこれらに限定されない）、入力のような1つ又はそれよりも多くの制約条件も受け入れる。

40

【0044】

本発明の教示内容を用いて、何らかの他の処理を通じて判断されるフォトマスクパターンを洗練することができ、かつ本発明のアルゴリズムの出力を任意的にフォトマスクを達成する別の技術又は方法への入力として供給又はそうでなければ使用することができる事が考えられている。一般的に、一連の変形の部分集合を達成する本発明の教示では、その一連の変形を通じてマスクパターンが取られる反復的な処理が考えられている。

【0045】

本発明の教示内容は、メモリ用途（DRAM、SRAM、PROM、EPRROM、フラッシュ、EEPROMなど）、マイクロ周辺機器用途（システムサポート、通信、GPU

50

、大容量記憶、音声など)、マイクロプロセッサ用途、デジタル信号プロセッサ(DSP)用途、デジタルバイポーラ論理用途(汎用、プログラマブル論理、特定用途向け集積回路ASIC)、ディスプレイドライバ、バイポーラメモリなど)、アナログ用途、又は他の非IC関係用途(EMS、光学装置など)を含む(例えば、しかし、これらに限定されない)様々な可能な目的のための様々な可能な可能な入力パターンを使用して採用することができる。

【0046】

他の受け入れられている入力としては、フォトリソグラフィ処理を模擬するのに使用される物理モデルのパラメータ及び得られる解の望ましい属性を示すパラメータを含むがこれらに限定されないハミルトニアン関数のパラメータがある。これらとしては、例えば、採用するフォトマスクの数及び形式、ステッパ装置の波長、照射の形式及び特性、フォトレジストの形式及び特性、レンズの数及び特性などを含むことができる。他のパラメータとしては、焦点ぼけ、露出、アラインメント、欠陥などのような誤差発生源の特性を含むことができる。

【0047】

例示的な実施形態では、本発明は、様々な目的、例えば以下に適用される。

1. 様々なIC用途(DRAM、SRAM、マイクロプロセッサなど)
2. 様々なIC技術(CMOS、MOSFET、銅、GaAsなど)
3. 様々なリソグラフィ処理(二重マスク、CMP、レジスト形式、ダマスク模様など)
4. 様々な波長(24nm、193nmなど)、又は
5. 様々なマスク書き込み技術(電子ビーム、レーザ、ラスター走査、ビーム成形など)から生じる様々なマスキング技術(ガラス上のクロム、PSM、CPL、Att-PSMなど)。

【0048】

初期化

段階901で入力を受け取り、かつ $i = 0$ を初期化した(902)後、関数 ϕ を初期化する。理論的には、殆どいかなる初期関数でも十分であるはずであるが、初期状態は、収束に必要とされる時間、従って、処理のコストに影響を与える可能性がある。更に、相20当に粗悪な初期状態の場合、アルゴリズムは、収束しない可能性がある。

【0049】

マスク関数を初期化する様々な方法が当業者に明らかであろう。本発明の一実施形態では、初期関数は、封入領域(以下で選択される)を含む初期フォトマスクパターンに従つて以下を割り当てることにより選択される。

1. フォトマスクパターンの封入領域内の至るところで $\phi(x, y)$ に値 +1、
2. フォトマスクパターンの封入領域の外側の至るところで $\phi(x, y)$ に値 -1、及び
3. フォトマスクパターンの領域の境界(輪郭)で $\phi(x, y)$ に値 0。

【0050】

しかし、より滑らかなかつほど連続的な関数をマスク関数として準備することが望ましい。本発明の実施形態では、マスク関数は、「距離関数」であり、特定の点でのこの関数の値は、フォトマスクパターンにおける領域(領域の境界の内側では正、外側では負)の(最も近い)境界までのその点の(符号付き)距離を表している。このような関数は、様々な有用な特性を有する。例えば、本発明の状況においては、距離関数は、領域境界の内側又は領域境界の外側にあるものだけではなく、境界「の近く」にあるものに依存する計算を可能にし、ここで、「近く」とは、関数的な距離に基づいている。関数が漸進的に変化する時に、距離関数としての特性を徐々に失う。しかし、これは、当業者に公知の「再距離化」処理を用いて補正することができる。

【0051】

段階903で初期関数 $\phi(x, y)$ の選択の基礎とする初期フォトマスクパターンを

10

20

30

40

50

判断することが残っている。以下を含む（がこれらに限定されない）様々な可能な選択が利用可能である。

1. 無作為。これは、最速の最小化になる選択である可能性はないが、非常に強力なものであるはずである。

2. 目標パターン。特に、単一のクロムガラスマスクの場合、目標パターンに等しくなる初期マスクパターンを選択することは、かなり良好に行われる可能性がある。これは、最終マスクパターンが目標パターンと類似のものである可能性があるからである。

3. 目標パターンに適用された経験則の結果。例えば、OPCアルゴリズムが目標パターンに適用され、その結果が初期マスクパターンと使用される。複数のマスク処理に対しては、1つの方法は、経験則を用いて、例えば、水平線及び垂直線を分離してパターンを複数の露出部分に分割することである。10

4. 同じか又は類似の問題の過去の解からの結果。これらは、望ましい最終パターンと類似のものである可能性がある。

5. マスク上の他の類似の領域の解からの結果。上記と同様に、これらから類似の解が得られる可能性がある。例えば、マスクは個々のマスク区域を含むと想像することができる。このような個々の区域のパターンは最適化されるので、解を他の区域の初期見当として使用することができる。特定の区域の最適解は、隣接区域との相互作用に依存することになるので、解は、同じものではないと考えられる。しかし、1つの区域から得られた最適解は、別の類似の区域の良好な初期見当として機能すると考えられる。

【0052】

反復パターンがIC回路デザイン中に存在し、その一部自体が、最初に階層底部のフォトマスクセグメント又は領域（すなわち、「標準セル」と呼ばれることが多い最小部分）を最適化するために階層で反復パターンなどで形成することができるを利用している。次に、これらの解の組合せをより大きな部分の初期見当として使用することができ（段階903で）、次に、これらのより大きい解の組合せを更に大きな部分のような初期見当として使用することができる。階層処理における本発明の教示内容の適用は、一部の場合には、特に局所的判断基準が収束判断に使用される時に超高速収束を可能にすると考えられる。20

【0053】

元の目標フォトマスクパターンを初期化する方法は、数多くある。説明した上述の可能性は、単に可能な代案の部分的リストとしての意味である。30

【0054】

一実施形態では、マスク関数は、2次元格子での固定点での関数の値を表す値のアレイとして記憶される。任意的に、より洗練された方法（「局所的レベル設定」という）では、境界近くの値を記憶するだけである。すなわち、パターン及び解像度によっては、これは、実質的により効率的なものである可能性がある。マスク関数を表すと共に記憶する他の方法は、当業者に明らかであろう。

【0055】

「メリット」の検査

流れ図で分るように、段階904で、アルゴリズムは、最適フォトマスクが得られるよう適切な組の輪郭で収束したか否かを判断する。一実施形態では、この検査は、輪郭作成における各段階後に行われる。代替的に、この検査は、作成の2つ又はそれよりも多くの段階後に行われる。40

【0056】

問題のない解が見出されたか否かを判断する1つの単純な方法は、結果的に現在の解の「メリット」が得られるハミルトニアンH(\mathbf{z}_i)の値を計算することである。代替的に、解は、行われた反復の回数に基づいて問題なしと見なされる。局所的に定められた判断基準を用いてその解が問題のないフォトマスクの区域での反復を停止し、かつ解が問題のないメリットレベルに達していない区域で反復し続けることは有利であろう。このような状況においては、「局所的」とは、ピクセルレベルで、小区域（例えば、反復距離）レベ50

ルで、マスク区域の階層的細分化レベルで、又は他の代替レベルを意味することができる。

【0057】

収束を示す更に別のものは、勾配のマグニチュード（「解空間」において）、又はフレシェ微分によって提供され、輪郭が最適な状態に近づく時に導関数が小さくなり、ゼロに近づく。同様に、反復単位での輪郭形状の変化は、収束の指標になる。いくつかの指標を説明したが、当業者は、他の指標も認識するであろう。

【0058】

時間的に変化する輪郭

上述のように、実施形態では、マスク関数は、方程式(2)を通じて計算された小さな関数 $n(x, y)$ をマスク関数に追加する一連の段階において漸進的に変化する。 10

【数5】

$$\Delta_t(x, y) = \Delta t \cdot \left\{ \frac{\delta H}{\delta \psi} \Big|_{\psi=\psi_t} + R(\psi_t) \right\} \cdot |\nabla \psi_t|$$

解が固有でないと考えられるという意味において数学的「誤設定」であることは、例示的な実施形態の最適化問題には一般的なことである。時間的变化中に固有の数値的不安定を回避するために、「正則化」技術を採用して時間的变化を安定させやすいように小さな項 $R(\psi)$ をハミルトニアン H を追加する。得られる輪郭は、「ノイズ」が少なく、かつ見た目により滑らかである。当業者には明らかであると思われる以下を含む（がこれらに限定されない）正則化を付加する方法は数多くある。 20

1.

【数6】

$$R(\psi) = \nabla \cdot \frac{\nabla \psi}{|\nabla \psi|}$$

中間曲率正則化 - この項を追加すると、輪郭の長さを最小にすることによって画像内のノイズが低減される傾向がある。 30

2.

【数7】

$$R(\psi) = \nabla \cdot \frac{\nabla \psi}{|\nabla \psi|} - \overline{\nabla} \cdot \frac{\nabla \psi}{|\nabla \psi|}$$

平均中間曲率 - これは、多くの小さな領域と比較すると領域が大きいほど単位面積当たりの境界が小さくなるので、より滑らかな輪郭及びより大きい領域を取り囲む輪郭を優先して固定封入領域の総面積を保ちながら境界の長さを最小にする傾向がある。 40

3.

【数8】

$$R(\psi) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\psi_x}{|\psi_x|} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\psi_y}{|\psi_y|} \right)$$

ウルフ・クリスタル正則化又はウルフ曲率。これは、マンハッタン幾何形状を優先する点を除き、曲率と類似のものである。マンハッタン幾何形状又は45°角の直線縁部を優 50

先してウルフ正則化の他の変形を用いることができる。ウルフ・クリスタル正則化の使用は、直線的幾何形状の保証はないが、直線的輪郭を有するマスクの設計の一助になると考えられる。

4.

【数9】

$$R(\psi) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\psi_x}{|\psi_x|} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\psi_y}{|\psi_y|} \right) - \overline{\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\psi_x}{|\psi_x|} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\psi_y}{|\psi_y|} \right)}$$

10

平均ウルフ曲率 - 平均中間曲率及びウルフ曲率の態様を組み合わせると、それによって大きな領域を取り囲む直線的輪郭の優先が得られる。

【0059】

上述の正則化による式においては、分数の1つ又はそれよりも多くにおける分母がゼロに等しい可能性がある。ゼロで割ることを回避するために、小さい定数を分母に追加するか、又は分子と分母がゼロに等しい時には常にゼロに等しい式を設定することができる。

【0060】

当業者は、正則化に対して他の可能性を認識するであろう。正則化の量又は形式が輪郭が漸進的に変化する時に時間と共に変化することが望ましい場合があり、かつ正則化を導入する代替方法は、当業者に明らかであると共に、本発明の教示内容の一部であることが明らかであるはずである。

20

【0061】

得られる輪郭の更に別の望ましい特性をメリット関数に組み込むことができることは、本発明の例示的な実施形態の有利な態様である。例えば、フォトマスクは、特徴部を小型化してその数が多くなるよりも、特徴部を大型化してその数が少なくなることが望ましいと考えられる。それによって、得られるプリントフォトマスクパターンの品質が改善するとは考えられないが、輪郭の単純化を可能にするフォトマスクを製造する方が容易かつコスト効率の高い、従ってこれを行う利点として商業レベルの有用性が得られると考えられる。この性質の解の「メリット」を増大するように付加的な項をハミルトニアンに追加することによってこれに対処することができる（例えば、微細部を欠く輪郭は、多くの微細部を有する輪郭よりも好ましい）。同等に、このような項をハミルトニアンに追加することは、「正則化」を追加することと考えることができる。このようにして、正則化は、数値的安定性を改善するばかりでなく、得られる輪郭において望ましい属性が得られるよう30に使用される。ハミルトニアンのどの態様を「正則化」項と考えるか、及びどの態様が最適化問題の一部であると考えるかに関しては、個人的好み及び解釈の問題である。

30

【0062】

方程式(2)において、並びに正則化の式のいくつかにおいては、| | を計算する必要がある。勾配を計算する方法は、数値的安定性に関して重要な結果を招く可能性がある。例示的な実施形態では、ハミルトン・ヤコビ「本質的非振動(ENO)」方式又はハミルトニアン・ヤコビ「重み付き本質的非振動(WENO)」方式として当業者に公知の勾配を計算する技術を用いることができる。代替的に、当業者に公知のように、他の勾配計算方法が用いられる。

40

【0063】

同様に、時間依存マスク関数の時間的变化は、様々な数値的技術を用いて実行することができる。上述の一実施形態では、「1次ルンゲ・クッタ」として公知であるものを使用する。代替的に、当業者には明らかであるように、3次ルンゲ・クッタのような他の変形を用いることができる。

【0064】

勾配下降の方法には、複数回の反復を伴い、段階 905 を実行する一部として選択され

50

る関数 $i(x, y)$ のサイズは、方程式(2)に現れる「時間ステップ」 t によってスケーリングされる。時間ステップが最小値を超えるか、又は数値的不安定になるほど大きいものでない限り、時間ステップが大きいほどシステムは速く収束する。アルゴリズムの収束速度は、適切な時間ステップを選択することによって改善することができる。

【0065】

時間ステップ t を選択する方法は数多くある。一実施形態では、システムが安定していることを保証するほど単に十分に小さい時間ステップを選択する。代替的な実施形態では、大きな時間ステップから始めて、アルゴリズムが最小値に近づく時に徐々に時間ステップを低減する。代替的な実施形態では、時間ステップを局所的にかつフォトマスクの部分区域当たりで変える。他の方法又は時間ステップを特定の状況に適応させる他の手段は、当業者に公知であろう。

10

【0066】

別の実施形態では、より大きい時間ステップを可能にするために任意的に線形前処理を有する陰解法として公知であるものを用いることができる。更に他の変形も当業者に公知であろう。

【0067】

時間ステップを低減することによって時間粒度を洗練することに類似のものであるが、本発明の一実施形態では、アルゴリズムが収束に近づく時に、フォトマスク上の点の格子の粒度又は配置を時間依存的に調節する。初期反復をより大きい格子に行い、かつ高精度化が望ましいので時間と共に格子点の数を増すことによって、解の取得が短時間化される。他のこのような「多重格子」技術は、当業者が明らかであろう。別の可能性は、適応的メッシュ法を用いることであり、この方法によって格子サイズは、局所的に変化する。

20

【0068】

輪郭を時間的变化させる処理は、解までの「解空間」において「下り坂」経路がないか、又はこのような下り坂経路が異常に長いか又は遠回りである構成に到達する可能性がある。このような状態では、収束には、多数の反復が必要であろう。また、アルゴリズムは、局所的(全体的ではない)最小値で「立ち往生する」場合がある。このような状況を処理する一部の例示的な技術は、以下の通りである。

1. ハミルトニアンを変更する。局所的最小値を解空間にもっていくために、様々な修正をハミルトニアンに行うことができ、例えば、正則化の項をこの目的に使用することができることもある。

30

2. ランダムバブルの追加。ランダムノイズをマスク関数に追加すると、新しい領域が作り出され、新しい領域は、次に、時間的に変化して解になる。ノイズ(すなわち、歪み)を無作為に意図的に追加することができ、又はそれは、特定の領域(例えば、既知の問題のある目標幾何形状、又は許容誤差まで自己収束しない領域、その他)をターゲットにすることができる。

3. 発見的バブル。ランダムノイズを追加するのではなく、一般的にシステム収束の一助になると経験的に既知である特定の修正特徴部を追加する。例えば、特定の区域の漸進的变化が遅すぎるように見えた場合、その区域のレベル設定関数に定数を追加することによって、その区域内の全ての特徴部を「大型化」することができる。

40

4. 上り坂ステップ。無作為に又は具体的な位置に上り坂を移動させることにより、アルゴリズムは、局所的最小値において立ち往生することを回避して全体的な最小値に向けて機能する。本発明のアルゴリズムに有用な離散的最適化又は模擬アニーリングから得られる同様の技術は、当業者に明らかであろう。

【0069】

上述の例示的な技術の代案も当業者には明らかであろう。

【0070】

射影演算子

多くの場合、例えば、製造可能性を改善するか、又は対応するマスクのコストを低減するために解を直線的輪郭に制限することが望ましい。本発明は、射影演算子を使用するこ

50

とによってこの制約条件を強制するものである。

【0071】

射影演算子は、全ての可能な輪郭の解空間を考慮し、その組の直線的輪郭が解空間の部分空間であることを認識することによって理解することができる。射影演算子は、輪郭の漸進的变化を直線的輪郭の部分空間内へ制約する。

【0072】

射影演算子は、1組の恐らくは曲線的な輪郭を取って、それらを1組の直線的輪郭で近似する。一実施形態では、固定格子サイズ（恐らくは製造機能に対応する）を選択して、全ての輪郭を最も近い格子に「丸める」。これは、例えば、単一の格子セル内の大部分の点が正である場合に正、単一の格子セル内の大部分の点が負である場合は負、及び境界に沿ってゼロであるようにレベル設定関数を設定することによって達成される。射影演算子の代替的な実施形態においては、水平方向及び垂直方向でm関数を走査して、ほぼ一定の値を有する伸展部を捜すことを伴うと考えられる。このような伸展部は、伸展部の長さに沿った平均値にリセットし、それによって輪郭を直線化することができる。射影演算子の代替的な実施例は、当業者には明らかであろう。

10

【0073】

本発明の一実施形態では、射影演算子は、毎回の時間ステップ反復後にマスク関数に適用される。このようにすれば、輪郭は、直線的になるように常に制約される。代替的な実施形態では、輪郭は、射影演算子の適用と適用の間に複数の時間ステップにわたって漸進的に変化させられ、その場合、輪郭は、一時的に厳密な直線的の形から逸脱する場合がある。射影の頻度は、計算速度、射影演算子の選択（又は実行）、又は曲線的時間的変化の方法（又は実行）に依存するであろう。

20

【0074】

本発明の代替的な実施形態では、射影演算子は、増分関数 $i(x, y)$ に適用することができ、従って、直線的マスクは、直線的のままである。更に別の実施形態では、増分関数 $i(x, y)$ に適用された射影演算子は、直線的セグメントの数を一定に保つために現在のマスク関数を考慮することができる。

【0075】

射影演算子は、フォトマスクの製造可能性に望ましい他の制約条件を考慮するのに使用することができる。例えば、一部の場合には、マスクが成形電子ビームで書き込まれた場合、露出総回数が最小に保たれるように（破碎しないように）直線的フォトマスクを形成するセグメントがフォトマスクにわたって一列に並ぶことが望ましいであろう。本発明の一実施形態では、射影演算子は、露出回数を最小にするために1組の直線的輪郭を判断すると言われる。これは、特徴部の両側を同時に考慮し、整列するように特徴部の両側でセグメントを開始しつつ終了することによって上述の走査方法を用いて達成することができる。本発明の一実施形態では、射影演算子は、最小間隔又はサイズ判断の制約条件を補正することができる。

30

【0076】

本発明の他の実施形態は、直線的マスク、破碎の影響の欠如、最小間隔、及び最小サイズをメリット関数に組み込むことによって、これらの要素の目的の1つ又はそれよりも多くの組み込むことができる。

40

【0077】

メリット関数 / ハミルトニアン

例示するように、最適化の問題及び得られる輪郭は、ハミルトニアンというメリット関数で判断される。本発明の範囲内でメリット関数を選択する代替方法は数多くある。本発明の一実施形態では、ハミルトニアンは、2つの部分の和を含む。

1. 第1の部分、マスク輪郭自体に基づいている、及び

2. 第2の部分、マスク輪郭に対応するフォトマスクを与えられたウェハ又はダイ上にプリントされる得られるパターンに基づいている。

【0078】

50

ハミルトニアンの第1の部分は、得られる最適化フォトマスクパターンが製造の観点から望ましい特性を有するように、1つ又はそれよりも多くの項を含むことができ、例えば、上述の「正則化」項は、より製造しやすいマスクに対応する輪郭に対する優先を示すハミルトニアンの要素と見ることができる。

【0079】

ハミルトニアンの第2の部分は、フォトリソグラフィ処理のモデル、すなわち、特定のマスクパターンから生じるウェハパターンを検索する方法（前進モデル）を考慮する。以下で、本発明の一実施形態の例示的な前進モデルに対して説明する。

【0080】

一般的なフォトリソグラフィ処理においては、光は、フォトマスクを通過し、次にウェハに当たり、そこでフォトレジストが露出される。コピーレント照明に対しては、フォトマスク上に落下する電界は、ほぼ一定である。マスクの透明領域は、光を通し、不透明な領域は、光を妨げる。電界は、マスクのちょうど背後であり、以下のように書くことができる。

【数10】

$$M(\vec{r}) = \begin{cases} 0 & \text{chrome} \\ 1 & \text{glass} \end{cases}$$

ここで、

【数11】

$$\vec{r} = (x, y)$$

は、(x, y)平面上の点である。レベル設定関数が正である領域はガラスを示し、レベル設定関数が負である領域はクロムを示す（レベル設定が境界又は輪郭でゼロに等しいとして）本発明の実施形態に対応して、上述の方程式をレベル設定関数 (x, y) の関数として以下のように書くことができる。

【数12】

$$M(\vec{r}) = \hat{h}(\psi(x, y))$$

ここで、

【数13】

$$\hat{h}$$

は、以下のヘビサイド関数である。

【数14】

$$\hat{h}(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases}$$

理想的な回折制限レンズは、ローパスフィルタとして機能するために、これは、実際の（殆どであるが全く完全というものではない）レンズの良好な近似値として機能することになる。そこで、数学的には、レンズの作用は、以下のように書かれることになる。

【数15】

$$A(\vec{r}) = f^{-1}(C(f(M(\vec{r}))))$$

10

20

30

40

50

ここで、
【数16】

$$A(\vec{r})$$

は、ウェハ上の電界分布を示し、 f は、フーリエ変換を示し、 f^{-1} は、逆フーリエ変換を示し、

【数17】

$$\hat{C}$$

10

は、レンズ開口数によって求めた閾値よりも大きい頻度に対してはゼロで他の場合は1である以下の瞳孔カットオフ関数を示している。

【数18】

$$\hat{C}(k_x, k_y) = \hat{h}(k_{\max}^2 - [k_x^2 + k_y^2]) = \begin{cases} 0 & k_x^2 + k_y^2 \geq k_{\max}^2 \\ 1 & k_x^2 + k_y^2 < k_{\max}^2 \end{cases}$$

ここで、 k_x 、 k_y 、及び k_{\max} は、フーリエ空間における周波数座標を表している。

【0081】

20

最後に、ウェハ上のフォトレジスト内の画像を判断する。本発明の一実施形態では、この処理は、「閾値レジスト」を用いてモデル化され、強度が所定の閾値（ここでは I_{th} と呼ぶ）よりも大きい領域においては、レジストは、露出状態であると見なし、閾値よりも小さい領域においては、レジストは、非露出状態であると見なす。数学的には、これは、ここでもまた以下のようにヘビサイド関数で処理される。

【数19】

$$I(\vec{r}) = \hat{h}(|A(\vec{r})|^2 - I_{th})$$

【0082】

30

上記を組み合わせると、以下のようになる。

【数20】

$$F(\psi(x, y)) = \hat{h}\left(\left|f^{-1}\left(\hat{C}\left(f\left(\hat{h}(\psi(x, y))\right)\right)\right)\right|^2 - I_{th}\right)$$

【0083】

これは、上述のモデルという状況において、レベル設定関数によって定められたフォトマスクパターンに対応するウェハパターンを示す自己制約公式である。これは、相対的な簡潔性のために一例として選択された本発明の範囲で使用することができる1つの特定の可能な前進モデルに過ぎないことが強調されるべきである。より洗練された前進モデルも、本発明の範囲に該当する。このようなモデルは、限定ではなく例示的に、複数回の露出、様々な照射条件（例えば、軸外れ非干渉性）、フォトマスクと相互作用する実際の光場の電磁気、ガラス上のクロムの他の様々な形式のフォトマスク（例えば、減衰位相シフト、強力な位相シフト、他の材料など）、光の偏光、レンズの実際の特性（収差）、及び可変閾値モデル、集中定数モデル、又は完全3次元第一原理モデルのようなより洗練されたレジストモデル（レジスト内での拡散）を考慮すると考えられる。モデルは、レジストスタック内を含むシステムを伝播する時の電磁場のベクトル性、又はフォトマスク又はレジストスタックを含むリソグラフィ処理の様々な部分に適用される時のマックスウェルの方程式も考慮することができる。前進モデルは、過去にウェハ上にプリントされかつ測定さ

40

50

れた1組の構成パターンに合わせてモデルを形成することによって判断されるパラメータの使用を含むことができる。一部の実施形態では、前進モデルでは、液浸リソグラフィの影響を考慮することができる。

【0084】

逆アルゴリズムには前進アルゴリズムの何回もの反復が必要であるから、後者は、例示的な実施形態において効率的に実施されるであろう。しかし、一般的に、モデルは、より洗練されるほど実行速度が単純なモデルよりも遅くなる傾向がある。本発明の一実施形態は、より単純なモデルで始めて、次に、処理が収束する時に徐々により洗練されたモデルを導入することにより、モデル速度のこのような差異を補正し、従って、最終回の反復まで完全な複雑性が延ばされる。代替的な実施形態では、数回の反復中により正確なモデルを使用し、次に、前の段階との差異を計算するために単純なモデルを使用する。代替的な実施形態では、異なる時間ステップでの異なるモデルの切り換えによって、平均化効果が得られる。例えば、これは、誤差パラメータの空間を利用する効率的方法を表すものである。他の変形は、当業者には明らかであろう。

【0085】

本発明の一実施形態では、ハミルトニアンは、性能指標を判断するために前進モデルから生じるパターンを目標パターンと比較する。例えば、 L_2 ノルムは、以下のように計算することができる。

【数21】

$$H(\psi(x, y)) = |F(\psi(x, y)) - T(x, y)|^2$$

10

20

ここで、 $T(x, y)$ は、目標パターンを示している。 L_2 ノルムは、2つのパターンの重なっていない領域の面積を示している。この量は、2つのパターンが収束する時にゼロに近づく。性能指標を判断する他の例は、以下の通りである。

1. 他のノルム。これらとしては、差の立方関数又は他の多項関数を含むことができるであろう。

2. レベル設定差異。境界の長さにわたって統合された境界間の距離を計算することができるレベル設定関数として得られるパターンを表すことによる。

3. 局所変動。画像の部分が異なれば、目標パターンからの変動になった時にその重要度も異なると考えられる。例えば、ゲートは、一般的に、相互接続部より遙かに正確にプリントされる必要がある。一実施形態では、重み付け関数によって、デザインの各部の重なり合っていない区域には、精度要件が高いほど大きい重み付けが割り当てられる。関連の手法では、曲線間の距離、又は他のノルムが優先される。あるいは

30

4. 意味論。ある一定の種類の誤差は、他の種類よりも有意であると見なされる。例えば、小さな公差内では、目標パターンからの変動は重要ではなく、一方、一部の公差外の変動は、考慮対象がデザインの意図及びデザインの幾何形状に留まらなければ致命的である。一部の実施形態では、誤差を説明するために局所的重み付けを用いる。一例として、特定の公差内でプリントされるゲートを考える。その時、重み係数は、公差外の点に対しては増大する。公差内では、重み係数は小さくなり、かつ任意的に依然としてゼロ以外であると考えられる（アルゴリズムが、依然として目標に近い方のデザインを優先するよう）。設計上の意味論をメリット関数に組み込む他の方法は、当業者には明らかであろう。

40

【0086】

ハミルトニアン関数の1つの望ましい特性は、マスク製造において又はフォトリソグラフィ処理において誤差に対して強いマスクを表す輪郭の優先である。このような強さは、「処理寛容度」として公知である。最も重要であり、かつ考慮対象になりそうな誤差として、露出及び焦点ぼけがある。しかし、マスク欠陥、アラインメント誤差、レンズ収差などのような処理寛容度の他の態様は、考慮対象候補項目である。処理寛容度は、様々な方法でメリット関数内に組み込むことができる。一実施形態では、ハミルトニアンは、各々

50

が1組の誤差条件でプリントされる画像の品質を表す項の和を含む。代替的な実施形態では、ハミルトニアンは、パターンが指定の公差内でプリントされる確率を示している。処理寛容度をメリット関数に組み込む他の方法は、当業者には明らかであろう。例示的な実施形態では、メリット関数によって、どの種類の誤差が重要であるか及びどのくらい重要であるかを判断する柔軟性が可能になる。例えば、1つのマスクは、完全に焦点が合った時に完全にプリントされるが、焦点外れになると急速に劣化する場合があり、一方、別のマスクは、焦点が合った時に精度が落ちてプリントされるが、焦点ぼけ誤差に対しては丈夫である場合がある。従って、例示的な実施形態では、メリット関数は、別のものに優る1つのマスクを優先する際の柔軟性を提供する。

【0087】

10

ここでもまた、ハミルトニアンでは、フォトマスクのあらゆる特性及びフォトリソグラフィ処理のあらゆるモデルを考慮することができる事が強調されるべきである。任意的に、実際の製造処理の経験的な測定結果に従ってハミルトニアン関数に調節が行われる。上述のハミルトニアン及び変形は、一例としてのみであり、限定するものではない。同様に、上述のフォトリソグラフィ処理は、一例としてのものであり、本発明の教示内容は、ハミルトニアン関数と共にモデル化することができるあらゆるフォトリソグラフィ処理に適用することができる。

【0088】

出力

図9に示す流れ図は、潜在的なフォトリソグラフィ用途の1つに適切なマスクを表して適切な「パターンI/Oフォーマット」で指定された仕様及び制約条件に従う得られた輪郭の出力で終わるものである。

20

【0089】

最適化輪郭に対応するフォトマスクパターンに加えて、他の出力が考えられている。一実施形態では、ハミルトニアン関数の最終値は、解のメリットを示すために、任意的に、得られる処理が仕様内でプリントされる確率概算値として解釈されるように出力される。他の出力の例としては、様々な処理寛容度パラメータ（例えば、焦点ぼけの範囲）、フォトマスク自体の特性（例えば、製造コスト概算値、位相割当て、特徴部の数など）、又は当業者に明らかである他の出力がある。

【0090】

30

一般化

以上の内容では、単一のマスク上の輪郭、クロム領域に対応する輪郭の内部、ガラス領域に対応する外部を表す単一のマスク関数が多くの場合に考慮されている。しかし、多くの場合、同じマスク上の複数の形式の領域、例えば、クロム、ガラス、及び位相シフトガラスを分離する輪郭を見つけ、及び/又は代替的に又は同時に、複数の露出法において使用される複数のマスク上の領域の境界に対応する輪郭を見つけることが望ましいであろう。いずれの一般化も、本発明の教示内容に該当するものである。

【0091】

複数のマスクを可能にするには、複数のマスク関数を同時に最適化すれば十分であり、そのアルゴリズムは、上記で説明した内容から直接に続くものであり、各マスク関数は、右側の項が、ここではただ1つの関数に代わって複数のマスク関数に依存する点を除き、(2)と類似の方程式に従って時間的に変化する。

40

【0092】

複数のマスクを終了する方法と類似の方法で、すなわち、複数のマスク関数で、複数の形式の領域に容易を提供することができる。しかし、同じマスク上の複数の形式の領域に対しては、領域が重なり合わないようにされる。ガラス領域が、第1の関数が正である領域に対応し、位相シフト領域が、第2の関数が正である区域に対応し、クロム領域が、両方の関数が負である区域に対応する例を考える。同じ領域が透明ガラスと位相シフトガラスの両方になる可能性を禁じて、例えば、「罰則」項をハミルトニアン関数に追加することによって、両方の関数が同じ区域で正になるのを防止する制約条件を追加すると、罰則

50

項は、2つの関数が重なり合った時は常に非常に大きな値を取る。従って、システムが時間的に変化する時に、輪郭は、重なり合わないように移動する。この概念は、平凡な方法で、2つよりも多いレベル設定及び3つよりも多い形式の領域に拡張することができることが明らかであるはずである。代替的に、両方の関数が自由に漸進的に変化し、かつ例えば両方が正である場合はその一方を優先して、その領域を透明ガラスとして形成することを可能にできる。多重領域（文献では「混相流」とも呼ばれる）を表す他の手段が当業者には明らかであろうし、かつ本発明の範囲に該当する。

【0093】

同様に、上記で説明した内容は、一般的に、クロム領域及びガラス領域から成るマスクに言及するのであるが、これらの形式の領域は、あらゆる数の異なる形式の領域に有用である本発明の適用可能性を限定するものと解釈されるべきではない。一例として（であるが限定するものではなく）、位相シフト領域、クロム以外の材料で覆われた領域（例えば、減衰位相シフトマスクにおいて）、及び中間調は、全て本発明の教示内容の範囲である。

10

【0094】

更に別の実施形態では、照明光学器械のパターンを表す関数を使用することができ、複数のマスクに対して上述したように、この関数は、1つ又はそれよりも多くのフォトマスクを表す関数と共に同時に最適化することができる。更に別の実施形態では、同様の方法で、ハミルトニアンの様々なパラメータを1つ又はそれよりも多くのマスク関数と共に同時に最適化することができる。

20

【0095】

部分格子解像度

例示的な実施形態では、マスク関数は、以下の有用な特性を有する。すなわち、このような機能が、ピクセルによる表現で、すなわち、(x, y)平面内の格子からサンプリングされた値のマトリックスとしてコンピュータに記憶された時に、ピクセルによる表現は、ピクセルサイズより実質的に小さい解像度で輪郭の正確な位置を指定することができる。例えば、ピクセルサイズではなく、ピクセルが32ビット浮動小数点値でコンピュータに記憶された場合である。これは、例に過ぎず、マスク関数の値は、64ビット値、8ビット値、又はピクセルによって提供される解像度と異なる可能性がある他の値のような他の解像度でも指定することができる。

30

【0096】

マスク関数が、最も一般的に（ただし必然的にではなく）ピクセルの格子内に配置された離散的な組の値によって表現された時、フォトマスクパターンの領域間に境界を形成する輪郭は、正確にピクセル境界上にあるとは限らないことが多い。例えば、マスク関数が、境界を定めるゼロレベル設定でレベル設定関数として選択された場合、値 $g(x, y) = 0$ は、特定のピクセルによってサンプリングされた離散的なx, yには発生しない場合がある。このような表現においては、1つの恐らく有用な手法は、サブピクセル解像度で境界の位置を示すようにピクセル値を初期化することである。例えば、マスク関数が距離関数である場合、輪郭近くのピクセルの値は、初期パターンに対応する輪郭までの符号付き距離に設定することができる。

40

【0097】

同様に、最終マスク関数が判断された時、マスク関数の内部表現と異なるパターンI/Oフォーマットで結果を出力することが望ましいことが多い。従って、出力パターンは、パターンI/Oフォーマットで説明される時、このような内部表現が使用されている場合に、ピクセル密度又は格子サイズ、又はより複雑な表現でのサンプル点間の距離よりも高い精度又は解像度を有することができる。マスク関数表現からパターンI/Oフォーマットへのサブピクセル解像度での出力マスクの変換は、多くの場合に、マスク関数表現がピクセル当たり数ビットを利用することになり、これらのビットによってピクセル内の輪郭の正確な位置が指定され、従ってサブ-ピクセル解像度でパターンI/Oフォーマットでパターン輪郭を指定することができるということを利用して達成することができる。

50

【0098】

また、上記と同様の方法で、ピクセル密度又は格子サイズより高い精度又は解像度でピクセルベースの格子上に目標パターンを表現することができる。これは、効率的にメリット関数を計算する際に有用であると考えられる。

【0099】

上述の手法は、多重解像度又は多重格子法を用いた時に、又は適応メッシュ手法、又は局所レベル設定手法、又はたとえマスク関数が単一のピクセルマップによって表現されていないとしても離散的な組の値で連続的なマスク関数を表現する実質的にあらゆる他の手法においても適用することができる。従って、代替的な実施形態（代替マスク関数及びマスク関数を解釈かつ表現するための手段など）は、ここでも本発明に該当する。

10

【0100】

パターン I / O フォーマットを使用して、目標の読み取り、最終フォトマスクの出力、又はマスク、ウェハ、目標の他のパターン及び画像、フォトマスク（ゲート領域又は他の特殊領域のマーク付けなど）に関する発見的情報、反復処理において初期フォトマスクとして使用することができると得る初期見当、又は他の 2 次元パターン情報の入力又は出力を行うことができる。本発明の一実施形態では、使用するパターン I / O フォーマットは、パターンの説明には様々な線の始点及び終点、又は多角形の頂点、又は本質的にピクセルベースのものではないパターンの形状を説明する他の手段が含まれることを意味するいわゆるベクトル又は多角形の形式の記述と呼ぶものに基づくことができる。GDSII 及び Oassis は、このような多角形の形式の記述の例である。本発明の例示的な実施形態の様は、入力又は出力時のこのようなパターンを多角形形式の表現から区域又はピクセルベースの表現に変換するか、又は区域又はピクセルベースの表現から多角形形式の表現に変換することができる。このような表現には、2 値ピクセルベースの表現、又は例えば距離関数表現を挙げることができるよう恐らく上述のようなマスク関数表現を含むことができると考えられる。フォーマット間のこのような変換は、格子上でサンプリングされたピクセル又は値を使用している場合には、区域ベースの表現のピクセルサイズ又は格子サイズよりも高い解像度で行うことができる。

20

【0101】

並列システム

フォトマスクは、多数の輪郭を有するという意味で全く大きなものになることが多い。代替的に、フォトマスクのようなピクセルによる表現は、多数のピクセルから成ることになる。単一の CPU で 1 回でフォトマスク全体の最適設計を計算することは、計算上厳しいものになる場合がある。このような状況では、パターンを異なる領域に分割して、一群のマシン内の異なる計算ノードで各領域を処理することが有用であろう。

30

【0102】

このような並列化を達成することができる方法はいくつかある。1 つの手法では、平面を重なり合わない領域に分割し、各領域は、特定の計算ノードで解が求められることになり、各個々のノードは、隣接領域を処理中であるノードに処理中の領域及びその境界状態に関する情報を伝達する。本方法の利点は、多数のプロセッサを同時に使用して、含まれた解が作業全般が単一のノードで提供された場合と同一になるように、広い区域に関する最適マスク関数の解を求める点である。

40

【0103】

代替手法では、平面を重なり合わない領域に分割するが、このような領域が個々の計算ノードで処理される時、マシン群は、所定の領域を取り囲む固定の厚みのハロー領域と共に各領域に対して最適マスクを計算する。同じマスクの別の区域に及ぼすフォトマスクの 1 つの区域の影響は距離と共に小さくなるために、この手法で見出されたマスク関数は、ハローが十分に大きなものである限り、マスク全体が単一の計算ノードで処理された場合とほぼ同じものになる。図 12 は、ブロック 1202 を含む、ブロック 1200 のアレイに分割されたフォトマスクパターンの一部を例示している。ブロック 1202 は、集積回路又は他の加工物の一部に対して指定された目標パターンを有することになる。ブロック

50

のサイズは、それぞれの構造体のサイズ、処理効率を達成する境界、又は他の判断基準を含むデザインの特徴に依存する場合がある。一部の実施形態では、固定ブロックサイズを指定することができる。例えば、例示的な実施形態では、図12のブロックは、1ミクロン×1ミクロンから10ミクロン×10ミクロンの範囲、又はそこに包まれるあらゆる範囲とすることができます。これらは、例に過ぎず、他のブロックサイズを使用することができます。1204で点線で示すように、ハローは、ブロック1202周りに形成することができます。このハローは、隣接ブロック1206、1208、1210、1212、1214、1216、及び1220と重なり合う。このハローは、各方向に距離dだけブロック1204を超えている。この距離は、処理パラメータ及び隣接領域からの予想干渉及び計算上の複雑さ（ハローによって、処理される各領域は大型化することから）のレベルに基づいて選択することができる。ハローのサイズは変るが、一部の実施形態では、0.5ミクロンから2ミクロンの範囲、又はそこに包まれる範囲、又はブロックの幅又は高さの5%から10%、又はそこに包まれる範囲とすることができます。これらは、例に過ぎず、他のハローサイズを使用することもできる。

【0104】

本方法の利点は、各領域が、ハローと共に全ての他の領域から完全に独立して終了することができる点である。更に別の手法では、フォトマスク全体を上述のようなハローを有する領域に分割するが、コンピュータは、反復を見つけるためにこのような領域を分析する。目標パターンの特定の領域が、ハローを含む目標パターンの別の部分の類似の区域と同一である場合、両方の例では同一結果が得られるので、この領域を1回処理しさえすればよい。単一のパターンは、目標デザインを通じて何回か繰り返して発生することが多いので、反復を排除するためにこの手法を用いることは、有利とすることができます。コンピューターアーキテクチャによっては、問題を並列処理する他の手法も可能である。

【0105】

本発明の一実施形態では、目標デザインをコンピュータシステムに対する1組の入力の1つとして供給する。デザインは、ネットワークで送ることができるか、又はテープ又は様々な取外し可能な記憶媒体で提供することができる。コンピュータシステムは、デザインを分析して多数の個々の部分に分割することから始まることになる。一実施形態では、デザインをファイルシステムに記憶し、ファイルにアクセス可能な1つ又はそれよりも多くのサーバがこの段階を実行することになる。代替的に、ファイルシステムは、サービスの1つ又はそれよりも多くに対してローカル（例えば、ローカルハードドライブなど）とすることができる。デザインの分割は、デザインを部分に分割する方法が複数あるので様々な判断基準ベースとすることができます。部分は、四角形、又は矩形、又はあらゆる他の形状とすることができます。通常、部分は、重なり合わないことが好ましいが（ハローが含まれる場合には、定義上、重なり合っているハローは数えない）、部分が重なり合わないことは必要ではない。一部の実施形態では、デザインは、元の入力フォーマットと異なる中間フォーマットで記憶することができる。一実施形態では、デザインは、処理前に「平坦化」し、従って、デザインの部分の分割では、階層は考慮する必要はない。別の実施形態では、切断処理を案内するための区画が予め判断されており、入力ファイルが読み込まれると、多角形は、どの区画に該当するかに従って分けられる。デザインを読み取り、分析し、かつ部分に分割する更に他の手法が、本発明の範囲で可能である。

【0106】

デザインが複数の部分に分割された状態で、各部分は、次に、部分を処理して各部分に対して最適フォトマスクが得られるような解を求めるように設計された1つ又はそれよりも多くのサーバに送ることができる。第2の組のサーバは、元の組のサーバを含むことができ、又は異なるマシン又はマシンの組とすることができます。データの送信段階は、「イーサネット（登録商標）」、又はMyrinet、又はInfiniband、又は2つ又はそれよりも多くのコンピュータが情報を交換することができるあらゆる他の方法でデータを送る段階を含むことができる。代替的に、データを元の組のマシンから第2の組のマシンにデータを送る手段として、1つ又はそれよりも多くのサーバが独立してアクセス

可能なファイルシステムに異なる部分を書き込むことができる。個々の部分を説明するデータは、パターン I / O フォーマット又は別の多角形形式の表現ベースとすることができ、又はピクセル又は格子ベースの表現、又はマスク関数又はビットマップのような区域ベースの表現とすることができます。任意的に、処理情報、例えば、波長又は開口数のような追加情報を含めることができます。本発明の一実施形態では、個々の部分は、別々に処理することができるようハローを含む。代替的な実施形態では、一部の部分は、ハロー含まない場合があり、又は縁部の一部だけにハローを含む場合があり、情報は、上述のように、ハローによって埋まっている縁部の境界に対処するために部分間で共有される。このような実施例は、例えば、情報が同時に実行されている処理間で容易にかつ効率的に移送される共有メモリ多重 C P U マシンで使用することができる。

10

【 0 1 0 7 】

完了する必要がある処理量を最小にすることが有利であると考えられるので、一部の実施形態では、システムは、任意的に、処理対象であるデザインの部分間で反復があるか否かを判断することができます。これを達成することができる 1 つの方法は、部分毎に署名を計算して、次に、同一署名を有する部分を検索するというものである。別の手法は、単に、部分同士を直接比較するというものである。一実施形態では、この反復分析は、第 1 の段階中に行われ、次に、部分は、処理されるように送られる。代替的に、第 2 の段階においては、サーバは、部分を処理し始める前に、同一部分が前に処理されているかを確かめることができます。他の手法も可能であり、本発明の範囲に該当する。部分をどのように切断するかに関する決断は、反復量に影響を与えることになるために、一部の実施形態では、切断段階中にデザイン内の可能な反復を考慮することが望ましいであろう。例えば、デザインがセルに基づく場合、部分は、2 つ又はそれよりも多くの位置に現れる可能性がある個々のセルに対応するように選択することができる。別の可能性は、このようなセルの群に対応する矩形を選択することであろう。更に別の実施形態では、デザインを一方向にストリップに任意に切断するが、各ストリップ内では、反復を見つける可能性を最大にするようにセル境界又はデザインの他の要素に整列した矩形部分を選択することになると考えられる。

20

【 0 1 0 8 】

全ての個々の部分が処理された状態で、結果が第 3 の組のサーバに転送され、サーバは、1 つ又はそれよりも多くのサーバとすることができます、又は第 1 及び第 2 の組の 1 つ又はそれよりも多くのサーバを含む場合もあれば含まない場合もある。データの転送は、上述のように、部分が最初に第 2 の組のマシンに送られた時に、様々な手段によってかつ様々なフォーマットで行うことができる。最後に、第 3 の組のマシンは、部分を再び組み付けて完全なフォトマスクデザインにする。一実施形態では、最適化されたフォトマスクの個々の部分は、他の G D I I ファイルに結合される。他の実施形態では、出力は、複数のファイルである場合があり、かつ一部の実施形態では、部分毎に異なるファイルを準備することができます。

30

【 0 1 0 9 】

先に概説した段階の 1 つ又はそれよりも多くを 1 つ又はそれよりも多くのマシンで並列に実行することができるという可能性がある。例えば、入力デザインが処理されると、個々の部分を別のマシンに送ることができ、別のマシンは、最適マスクを計算して、次に、部分を第 3 のマシンに転送し、第 3 のマシンは、部分を組み込み始めることになる。このような手法は、パイプライン式アーキテクチャと考えることができます。同様に、他のマシンが他の段階の 1 つ又はそれよりも多くを作業している間に、段階の 1 つ又はそれよりも多くの各部を 1 つ又はそれよりも多くのサーバ上で完了することができる。一部の実施形態では、段階の全ては、单一のマシン又は单一の多重プロセッサマシン（すなわち、複数の C P U を有する单一のマシン）上で実行されると考えられる。

40

【 0 1 1 0 】

上述の内容においては、上述のサーバは、いくつかの異なる計算機のいずれか 1 つとすることができる。1 つの可能性は、標準的なブレードサーバであろう。別の可能性は、標

50

準的な 1U ラックマウントサーバ、又は様々なサイズのラックマウントサーバと思われ、又は別の可能性は、一群の標準的なデスクトップマシン又はタワーであると考えられる。一実施形態では、処理は、GPU 又は CPU とも呼ばれる汎用マイクロプロセッサ上で行われることになるであろう。例えば、「インテル・ペンティアム（登録商標）」又は「AMD Opteron」を使用することができる。他の実施形態では、計算は、FPGA、DSP、又は ASIC 上で行うことができる。一実施形態では、作業の一部は、GPU 上で行われるであろうし、その作業の他の部分は、別の装置で行われるであろう。例えば、GPU を使用すれば、多角形の処理、データ転送、フィルタの読み／書き、フォーマットの変換、及び様々な一般的なタスクを行うことができ、FPGA を使用すれば、最適化の作業を行うことができる。FPGA 又は ASIC は、特に、マスク関数に関する演算を行うように設計することができる可能性がある。1つの手法は、FPGA、DSP、又は ASIC を使用して、マスク関数を表すのに使用される大きなアレイのピクセル値の処理固有の並列処理を利用するというものになると考えられる。例えば、サーバは、ローカル搭載メモリと共に 1つ又はそれよりも多くの FPGA、DSP、又は ASIC を含むサーバに取り付けられた特殊アクセラレータ基板と共に標準的な GPU から成ることができる。デザインの部分は、処理に向けて GPU に渡すことができ、GPU は、上述のような雑多なタスクを実行し、次に、特殊プロセッサを含むボードにアレイを転送し、特殊プロセッサは、次に、マスク関数に関する計算を行うことになる。次に、得られる最適マスク関数をマザーボードの主メモリに転送することができ、GPU は、あらゆる更に別の後処理を行い、及び／又は上述の第 3 の段階のような組み付けに向けて結果を別のサーバ又は別の組のサーバに転送することができる。また、システムは、GPU がアクセラレータ基板のメモリ、並びに GPU 自身のメモリにアクセス可能なように設計することができる可能性があり、一部の実施形態では、GPU は、FPGA、DSP、又は ASIC によって行われた作業を散在させた作業をマスク関数で行うことができる。

【0111】

例示的なシステムアーキテクチャ

図 13 は、本発明の実施形態による 1300 で全体的に示す例示的なコンピュータシステムのアーキテクチャを示すブロック図である。図 13 の例示的な実施形態に示すように、コンピュータシステムは、「インテル・ペンティアム（登録商標）」プロセッサ、「AMD Opteron（登録商標）」プロセッサ、又は他のプロセッサのような命令を処理するプロセッサ 1302 を含むことができる。プロセッサ 1302 は、プロセッサバス 106 によってチップセット 1304 に接続されている。チップセット 1304 は、メモリバス 1310 によってランダムアクセスメモリ（RAM）1308 に接続されて、プロセッサ 1302 による RAM 1308 へのアクセスを管理する。チップセットも、周辺バス 1312 に接続されている。周辺バスは、例えば、PCI、PCI-X、「PCI Express」、又は他の周辺バスとすることができます。一部の実施形態では、アクセラレータカード 1318 を周辺バス 1312 に接続することができる。アクセラレータカード 1318 は、処理 1320 を加速させる ASIC 又は他のハードウェアを含むことができる。アクセラレータカード 1318 は、搭載メモリ 1322 を含むことができる。コンピュータシステム 1300 は、周辺バスに接続されてネットワークとのネットワークインターフェースを達成する 1つ又はそれよりも多くのネットワークインターフェースカード（NIC）1314 も含む。ディスプレイアレイ又は他の不揮発性ストレージのような外部ストレージ 1316 も、周辺バス 1312 に接続されている。

【0112】

上述の方法のいずれかを実行するソフトウェア命令は、メモリ 1308、ストレージ 1316、搭載メモリ 1322、又は他のコンピュータ可読媒体に記憶することができると共に、プロセッサ 1302 又はアクセラレータカード 1318 によって処理することができる。目標パターン、フォトマスクパターン、又は以上のもののブロック又は部分、及び他の入力及び出力の表現も、メモリ 1308、ストレージ 1316、搭載メモリ 1322、又は他のコンピュータ可読媒体に記憶することができると共に、プロセッサ 1302 又

はアクセラレータカード 1318 によって処理することができる。これらの品目は、データ構造内、又はファイル内、又は他のフォーマットで記憶することができる。一部の実施形態では、上述のように、フォトマスクパターン又はフォトマスクの一部の関数表現は、パターンの区域にわたる格子点での関数の値が記憶されているアレイに記憶することができる。一部の実施形態では、プロセッサは、GDSII 又は Oassis のような多角形表現内のフォトマスクパターン又はフォトマスクの一部を処理して、格子表現又はピクセル表現を用いて関数表現に変換することができる。次に、搭載メモリ 1322 に供給すると、アクセラレータカード 1318 によって処理することができる。アクセラレータカード 1318 は、関数表現、メリット関数、及び変更関数を効率的に処理する特化ハードウェア 1320 を含むことができ、かつ上述のようにパターンを反復的に適応させるのに使用することができる。10

【0113】

図 14 は、本発明の実施形態によるネットワークコンピュータシステム 1400 を示すブロック図である。例示的な実施形態では、コンピュータ 1402a から i の各々は、図 18 に示すアーキテクチャ又は他のアーキテクチャを有することができ、かつ多重処理に使用して、大型集積回路設計を効率的に処理することができる。本発明のシステムは、コンピュータによって共有されるネットワークファイルシステム 1412 (図 13 の外部ストレージ 1316 に対応する) を有することができる。複数のプロセッサを有するコンピュータ、複数のブレード、又は他のアーキテクチャを有するサーバを含む、上述のように多重処理に向けて他のアーキテクチャを使用することもできることが理解されるであろう。20

コンピュータの 1 つ又は一群のコンピュータ 1404 は、集積回路デバイスの層に対して目標パターンを受信することができる。このコンピュータの群 1404 は、階層的フォーマットから平坦なフォーマットに目標パターンを変換して、目標パターンをブロックに分けることができ、ブロックは、図 12 に関連して上述したようにハローを含むことができる。

【0114】

例示的な実施形態では、目標パターンは、1000 万を超えるゲートを有する複雑な集積回路設計向けとすることができます。例示的な実施形態では、第 1 の群のコンピュータは、このパターンを処理に向けて 100 万又はそれよりも多くのブロックに分割することができます。例示的な実施形態では、デザインは、90nm、65nm、45nm 又はそれ未満の最小デザイン特徴部サイズ又はピッチを含むことができる。コンピュータ群 1404 によって作成されたブロックの目標パターンは、ファイルシステム 1412 内に又はメモリ内のデータ構造に記憶することができ、かつ他の組のコンピュータ 1406 及び 1408 によって、又はネットワーク 1410 でアクセス可能である。第 1 の組のコンピュータ 1404 は、個々のコンピュータ 1402d、1402e、及び 1402f によって処理されるブロックをファイルシステム 1412 内の待ち行列に割り当てることができる。このようにして、負荷の均衡を取ることができると共に、大きな複雑なデザインを多重処理を用いて効率的に処理することができる。30

【0115】

第 2 の組のコンピュータ 1406 は、処理に向けてブロックにアクセス可能である。各コンピュータ 1402d、1402e、及び 1402f は、その待ち行列からブロックを検索して処理することができる。第 2 の組のコンピュータは、パターンに対して汎関数又はビットマップ表現を選択し、メリット関数の値を求めるこによってパターンを反復的に適応させることができる。変更値は、上述のように、最終出力パターンが作成されるまでパターンを適応させるために追加することができる。ブロックの最終パターンは、ファイルシステム 1412 に記憶して、第 3 の組のコンピュータ 1408 によってアクセス可能である。40

【0116】

第 3 の組のコンピュータ 1408 は、ブロックを組み付けてマスクパターン全体又はその一部を作成し、マスクパターンを GDSII 又は Oassis 又は他のフォーマットのよ50

うな多角形表現に変換することができる。得られるマスクパターンは、ファイルシステム 1412 内のファイルとして記憶することができる。

【0117】

例示的なマスク及び集積回路

フォトマスクは、上述のシステム及び方法によって作成されたマスクパターンを使用して製造することができる。クロム領域、透明領域、又は位相シフト領域をマスクパターンに従ってフォトマスク上に形成することができる。例えば、図15、図16、図17、図18B、図18C、及び図18D、図19B、図19C、図19D、図19E、及び図19F、及び図20B、図20C、図20D、及び図20Eは、本発明の例示的な実施形態によるシステム及び方法から生じるサンプルパターンを例示している。これらの図において、例示的なパターンは、フォトマスク全体の個々のブロックに対応するが、ブロックを組み合わせて、フォトマスクを製造する際に使用されるパターン全体にすることができる 10 ことが理解されるであろう。

【0118】

図15は、ブロック1500の例示的なパターンを示している。このブロックは、約1ミクロン平方である。このブロックは、100nm × 454nmの孤立矩形である目標パターン1502を有する。処理パラメータ（入力として供給）としては、193nmの照射波長、0.85の開口数、点照射源、及び減衰位相シフトマスクがある。このパターンは、65nm生成を目標としたものであるが、65nm設計規則での使用に限定されるものではない。マスクパターン1504は、例示的な実施形態によるシステム及び方法によって作成される。マスクパターン1504は、矩形目標パターンの各端部で突出する2つの丸い突出部（目標パターンよりも広い）と、中央部の広い領域（目標パターンよりも広い）と、広い中央領域と各端部の丸い突出部との間の狭い領域（目標パターンよりも狭い）とを有する。 20

【0119】

図16は、ブロック1600の例示的なパターンを示している。このブロックは、様々な接点1602を有する目標パターンを有する。処理パラメータ（入力として供給）は、193nmの照射波長、約0.8の開口数、環状照射源、及び減衰位相シフトマスクがある。図16は、上述のように目標パターンを処理する際に使用することができる格子点も示している。図16に示すように、隔離接点に対してダイヤモンド形状1604（上部点／下部点と目標接点パターンよりも広い側部点とを有する）マスクパターンが生じると考えられる。互いに近い接点は、従って、涙滴形状で一方の側に他方よりも長く延びる非対称の形状1606を有する接点にわたるマスクパターンが生じると考えられる。 30

【0120】

図17は、ブロック1700の例示的なパターンを示している。このブロックは、1704で示すような角度で向きが変る平行な矩形領域1702を有する目標パターンを有する。処理パラメータ（入力と供給）は、193nmの照射波長、約0.8の開口数、環状照射源、及び減衰位相シフトマスクである。このパターンは、65nm生成を目的としたものであるが、65nm設計規則での使用に限定されるものではない。成形領域1706は、マスクパターンを示している。代替的に、図17に示すように、各矩形領域のマスクパターンは、1708で示すように内方（目標パターンの内側）に曲り、次に、1710で示すように外方（目標パターンの外側）に曲っている。この例における波状の構造体は、光源の有効波長に依存する固有の周期性を有する。これらの領域は、並行な矩形領域の間で多少ずれている（マスクパターンの領域が1つの目標パターンにわたって外方に突出する時、隣接目標パターンにわたるマスクパターンは、内方に曲る傾向がある）。目標パターンが角度を成して向きを変えるコーナでは、1712で示すように、各方向転換の外方コーナでより大きな外方の突出部がある。パターンは、周囲のパターン及びピッチ（隣接特徴部の間の空間）に従って各曲げ部が若干異なるように変る。 40

【0121】

図18Aは、例示的目標パターン1800を示している。図18B、図18C、及び図

10

20

30

40

50

18Dは、異なる処理パラメータを使用したこの目標パターンのサンプルマスクパターンを示している。目標パターン1800は、各処理に対して同じものとして示されているが、目標パターンは、処理の各々の異なるサイズに合わせてスケーリングすることができる事が理解されるであろう。図18Bは、2値クロム及びガラスマスク、130nm設計規則、193nm照射波長、0.7の開口数、及び環状照射のマスクパターンを示している。図18Cは、2値クロム及びガラスマスク、85nm設計規則、193nm照射波長、0.7の開口数、及び環状照射のためのマスクパターンを示している。図18Dは、2値クロム及びガラスマスク、45nm設計規則、193nm照射波長、0.7の開口数、及び環状照射のマスクパターンを示している。

【0122】

10

図19Aは、例示的目標パターン1900を示している。図19B、図19C、図19D、図19E、及び図19Fは、異なる処理パラメータを用いたこの目標パターンのサンプルマスクパターンを示している。目標パターン1900は、各処理に対して同じものとして示されているが、目標パターンは、処理の各々の異なるサイズに合わせてスケーリングすることができる事が理解されるであろう。図19Bは、2値クロム及びガラスマスク、130nm設計規則、193nm照射波長、0.7の開口数、及び環状照射のマスクパターンを示している。図19Cは、2値クロム及びガラスマスク、80nm設計規則、193nm照射波長、0.7の開口数、及び環状照射のマスクパターンを示している。図19Dは、2値クロム及びガラスマスク、130nm設計規則、193nm照射波長、0.7の開口数、及び環状照射のマスクパターンを示している。図19Eは、2値クロム及びガラスマスク、65nm設計規則、193nm照射波長、0.7の開口数、及び環状照射のマスクパターンを示している。図19Fは、2値クロム及びガラスマスク、45nm設計規則、193nm照射波長、0.7の開口数、及び環状照射のマスクパターンを示している。

【0123】

20

図20Aは、例示的目標パターン2000を示している。図19B、図19C、図19D、及び図19Eは、異なる処理パラメータを用いたこの目標パターンのサンプルマスクパターンを示している。目標パターン2000は、各処理に対して同じものとして示されているが、目標パターンは、処理の各々の異なるサイズに合わせてスケーリングすることができる事が理解されるであろう。図20Bは、2値クロム及びガラスマスク、130nm設計規則、193nm照射波長、0.7の開口数、及び環状照射のマスクパターンを示している。図20Cは、2値クロム及びガラスマスク、90nm設計規則、193nm照射波長、0.7の開口数、及び環状照射のマスクパターンを示している。図20Dは、2値クロム及びガラスマスク、65nm設計規則、193nm照射波長、0.7の開口数、及び環状照射のマスクパターンを示している。図20Eは、2値クロム及びガラスマスク、45nm設計規則、193nm照射波長、0.7の開口数、及び環状照射のマスクパターンを示している。

30

【0124】

例示的な実施形態では、フォトマスクを使用すると、上述の方法のいずれかによって判断されたパターンを有するマスクを使用した集積回路デバイス又は他の加工物を製造することができる。これらのマスクは、リソグラフィ機器において使用して、半導体ウェハ上のレジスト又は他の加工物内にパターンを作ることができる。次に、このような領域に基づいて材料をエッチング、ドーピング、又は堆積させて集積回路又は他の構造体を形成することができる。フォトレジストは、剥離することができ、かつ付加的な層が得られるようフォトマスクを使用して上述の段階を繰り返すことにより、付加的な層を形成することができる。次に、処理済みウェハ又は他の加工物をダイにスクリービングし、パッケージ化して集積回路デバイス又は他のデバイスを形成することができる。

40

【0125】

他の変形

本発明の態様は、最適グレースケール又は連続諧調フォトマスクの解を求めるのに適用

50

することができる。本発明の態様は、マスクなし光リソグラフィ、並びに光学的マスク書込器に適用することができる。これらの実施形態では、「最適フォトマスク」の解を求める代わりに、マスクなし光リソグラフィツール又は光マスク書込みツールを制御する際に使用される最適パターンの解を求めるだけになるであろう。

【0126】

上述の説明及び例示的な実施形態における様々な要素及び方法は、独立して又は様々な組合せで適用することができる。例えば、以下に限定されるものではないが、Nasho 1d射影の方法、Fine nap位相取り出しアルゴリズムの変形、逆畳み込みによるコヒーレント近似、局所的変形、下り坂検索、線形及び非線形プログラミング、ピクセルフリッピング、2次最適化、線形及び非線形最小2乗、Gerchberg-Saxtonアルゴリズム、模擬アニーリング、遺伝的アルゴリズムを含む最適フォトマスクを見つける様々な方法を上述の態様と組み合わせて用いることができる。このような方法に適用することができる本発明の態様は、本発明の範囲内でそのように適用することができる。例えば、これらの方法は、上述した以下の態様、すなわち、上述のメリット関数のいずれか、上述のパターン表現及び関連変換方法のいずれか、並列処理のためのハローを有するブロックへのパターン又はファイルの分割を含むがこれに限定されない上述の並列処理技術のいずれか、又は上述の実施形態の他の態様のうちの1つ又はそれよりも多くと組み合わせて使用することができる。例えば、上述の並列システムアーキテクチャは、様々なフォトマスク最適化方法に適用することができる。メリット関数を利用することができる様々な最適化方法に上述のハミルトニアン関数の要素を適用することができる。本発明の様々な態様を他の最適化方法と組み合わせる他の手段も可能である。

【0127】

従って、当業者が本発明を製造かつ使用することを可能にすることを目的としてシステム及び操作方法の様々な代替的な実施形態を以上示して説明したが、本発明は、それらに限定されないことを認めるべきである。従って、特許請求の範囲にあるいかなる修正、変形、又は同等の構成も本発明の範囲と考えるべきである。更に、本発明の原理の先の説明は、単に例示的であり、限定的ではない。例えば、本発明の原理に従った方法のいくつかの例示的な実施形態を示すと共に説明したが、他の代替的な実施形態が可能であり、本発明の原理を理解すると当業者には明らかであろう。例えば、いくつかの代案を本明細書で説明した様々な段階に対して説明した。1つの代案は、別の代案から分離されたものではなく、かつ代案の組合せを本発明の開示の特許請求の範囲の主題を実施する際に採用することができることを理解すべきである。本発明の原理は、その一部を言及した集積回路のフォトマスクの製造とは別の有用性を有することは確かである。従って、本発明の範囲は、特許請求の範囲によってのみ限定されるものとする。

【0128】

本発明の上述の実施形態は、例示及び説明として提供したものである。それらは、説明した形態に本発明をそのまま限定することを意図していない。

【0129】

特に、本明細書で説明した本発明の機能的実施例は、ハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、及び/又は他の利用可能な機能的構成要素又は構築ブロック内で同等に実施することができるようと考えられている。他の変形及び実施形態が上述の教示内容に照【発明を実施するための最良の形態】によってではなく、特許請求の範囲によって限定されるように意図している。

【図面の簡単な説明】

【0130】

【図1】本発明の実施形態によりフォトリソグラフィ処理を用いてウェハ上にプリントされる簡単な例示的目標パターンを例示する図である。

【図2】本発明の実施形態によりフォトリソグラフィ処理を用いてウェハ上にプリントされるより複雑な例示的目標パターンを例示する図である。

【図3】本発明の実施形態によりフォトリソグラフィ処理を用いてウェハ上にプリントさ

10

20

30

40

50

れる図2の例示的目標パターンの詳細を例示する図である。

【図4】本発明の実施形態による領域を含む(x、y)平面内の例示的なフォトマスクパターンを例示する図である。

【図5】本発明の実施形態によりフォトリソグラフィ処理の図4の例示的なフォトマスクパターンを用いてウェハ上にプリントすることができると考えられるものを例示する例示的なウェハパターンを示す図である。

【図6】本発明の実施形態による領域を含むより複雑な例示的なフォトマスクパターンを例示する図である。

【図7】本発明の実施形態によりフォトリソグラフィ処理において図6の例示的なフォトマスクパターンを用いてウェハ上にプリントすることができると考えられるものを例示する例示的なウェハパターンを示す図である。10

【図8a】本発明の実施形態によりフォトマスクパターンにおいて領域を取り囲む輪郭を形成することによって図4の例示的なフォトマスクパターンを表す関数を例示する図である。

【図8b】本発明の実施形態によりフォトマスクパターンにおいて領域を取り囲む領域を形成することによって図6の例示的なフォトマスクパターンを表す関数を例示する図である。

【図8c】本発明の実施形態により(x、y)平面に平行なゼロ平面と交差状態である図8aの関数を例示する図である。

【図9】本発明の実施形態によりハミルトニアン関数を最小にするためにフォトマスクパターンの輪郭を時間的変化させる方法を例示する流れ図である。20

【図10a】本発明の実施形態によるフォトマスクパターンを例示する図である。

【図10b】本発明の実施形態によりアルゴリズムによる最終関数出力に対応するフォトマスクパターンを例示する図である。

【図10c】フォトリソグラフィ処理において図10bのフォトマスクパターンを用いて作成されたウェハパターンを例示する図である。

【図10d】本発明の実施形態により図6に示す初期フォトマスクに対応する図8bに示す初期関数に基づいてアルゴリズムによって出力された最終関数を例示する図である。

【図10e】本発明の実施形態により図10dの関数に対応するフォトマスクパターンを例示する図である。30

【図10f】本発明の実施形態によりフォトリソグラフィ処理において図10eのフォトマスクパターンを用いて作成されるようなウェハパターンを例示する図である。

【図10g】本発明の実施形態により図6に示す初期フォトマスクに基づいてアルゴリズムによって出力された直線的フォトマスクパターンを例示する図である。

【図10h】本発明の実施形態によりフォトリソグラフィ処理において図10gの直線的フォトマスクパターンを用いて作成されるようなウェハパターンを例示する図である。

【図11】本発明の実施形態により、ハミルトニアンHを(x₁、y₁)の関数として示し、関数のm次元解空間の2次元部分空間を例示する図である。

【図12】本発明の実施形態によるフォトマスクパターンのブロック周りのハローを例示する図である。40

【図13】本発明の実施形態による例示的なコンピュータシステムを示す図である。

【図14】本発明の実施形態による例示的なネットワーク接続したコンピュータシステムを示す図である。

【図15】本発明の実施形態によるウェハパターン及びウェハパターンを生成するフォトマスクパターンを例示する図である。

【図16】本発明の実施形態によるウェハパターン及びウェハパターンを生成するフォトマスクパターンを例示する図である。

【図17】本発明の実施形態によるウェハパターン及びウェハパターンを生成するフォトマスクパターンを例示する図である。

【図18A】本発明の実施形態によるウェハパターンを例示する図である。50

【図18B】本発明の実施形態によりウェハパターンを生成するフォトマスクパターンを例示する図である。

【図18C】本発明の実施形態によりウェハパターンを生成するフォトマスクパターンを例示する図である。

【図18D】本発明の実施形態によりウェハパターンを生成するフォトマスクパターンを例示する図である。

【図19A】本発明の実施形態によるウェハパターンを例示する図である。

【図19B】本発明の実施形態によりウェハパターンを生成するフォトマスクパターンを例示する図である。

【図19C】本発明の実施形態によりウェハパターンを生成するフォトマスクパターンを例示する図である。 10

【図19D】本発明の実施形態によりウェハパターンを生成するフォトマスクパターンを例示する図である。

【図19E】本発明の実施形態によりウェハパターンを生成するフォトマスクパターンを例示する図である。

【図19F】本発明の実施形態によりウェハパターンを生成するフォトマスクパターンを例示する図である。

【図20A】本発明の実施形態によるウェハパターンを例示する図である。

【図20B】本発明の実施形態によりウェハパターンを生成するフォトマスクパターンを例示する図である。 20

【図20C】本発明の実施形態によりウェハパターンを生成するフォトマスクパターンを例示する図である。

【図20D】本発明の実施形態によりウェハパターンを生成するフォトマスクパターンを例示する図である。

【図20E】本発明の実施形態によりウェハパターンを生成するフォトマスクパターンを例示する図である。

【符号の説明】

【0131】

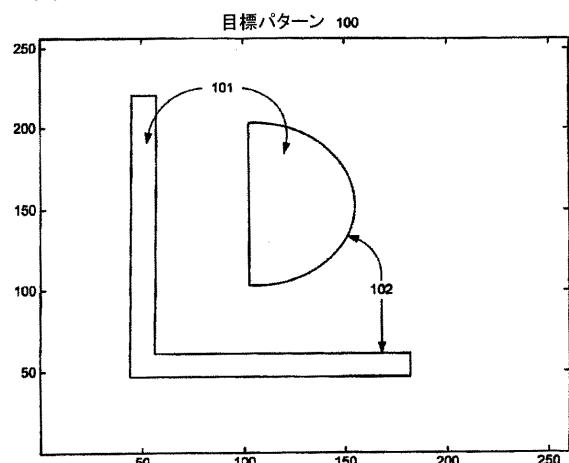
100 目標パターン

101 領域

102 輪郭

30

【図1】



【図2】

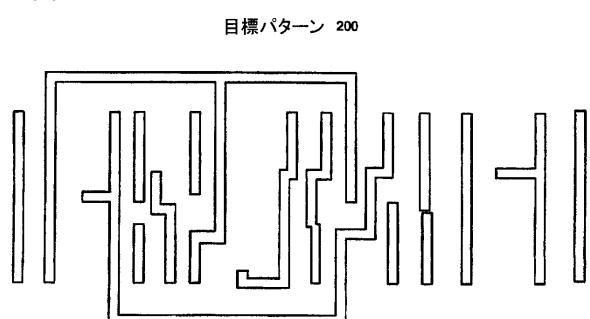


FIG. 2

FIG. 1

【図3】

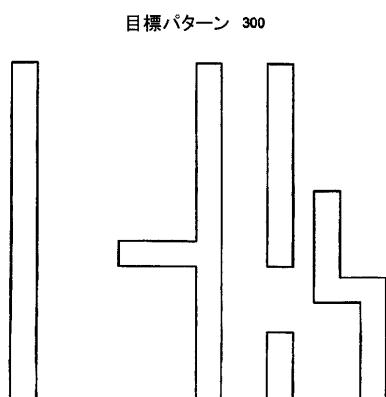


FIG. 3

【図4】

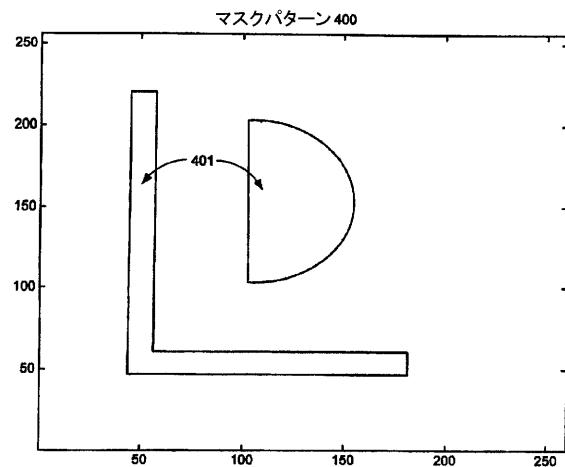


FIG. 4

【図5】
ウェーハパターン 500

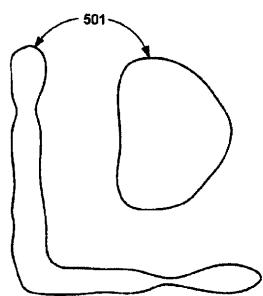


FIG. 5

【図6】
マスクパターン 600

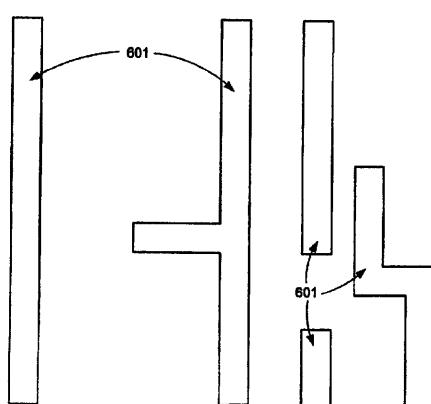


FIG. 6

【図7】
ウェーハパターン 700

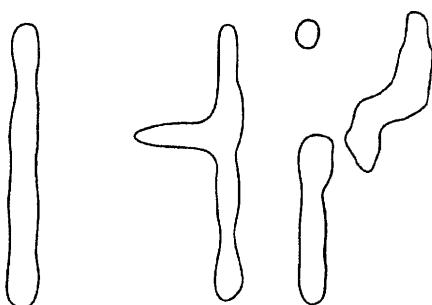


FIG. 7

【図8c】

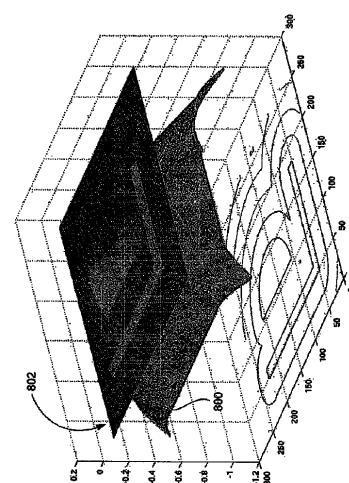


FIG. 8c

【図9】

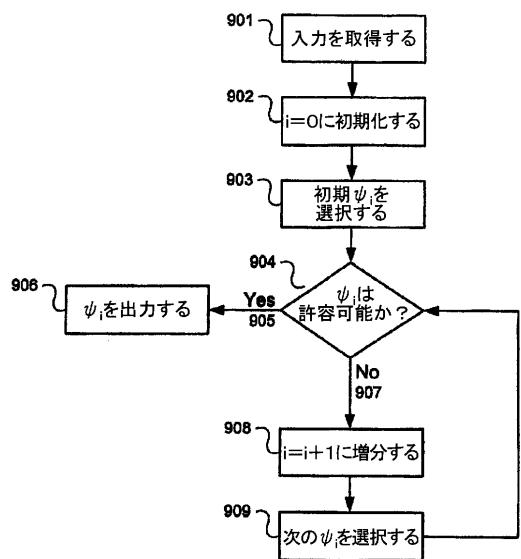


FIG. 9

【図10a】

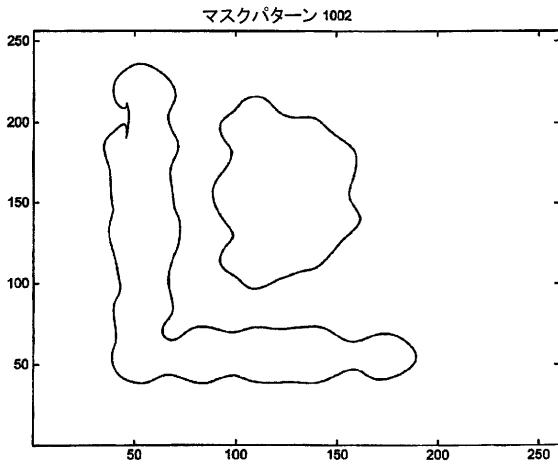


FIG. 10a

【図10b】

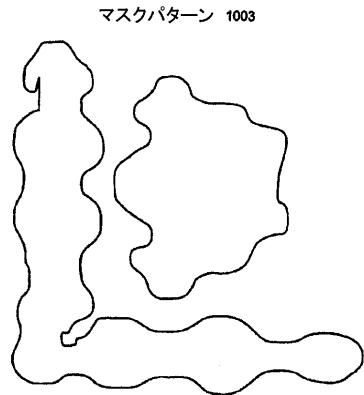


FIG. 10b

【図10c】

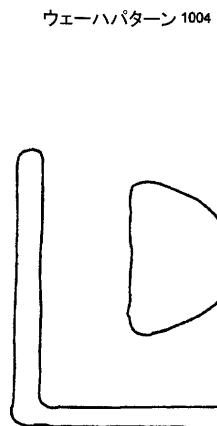


FIG. 10c

【図 10 e】

マスクパターン 1006

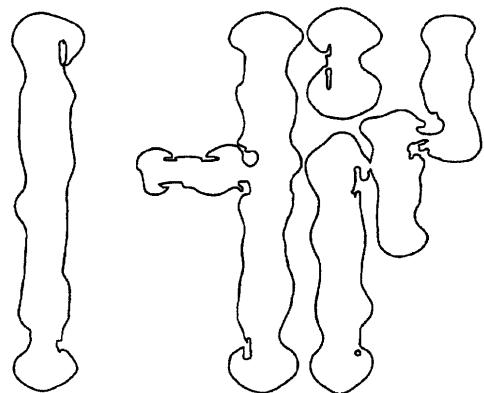


FIG. 10e

【図 10 f】

ウェーハパターン 1007

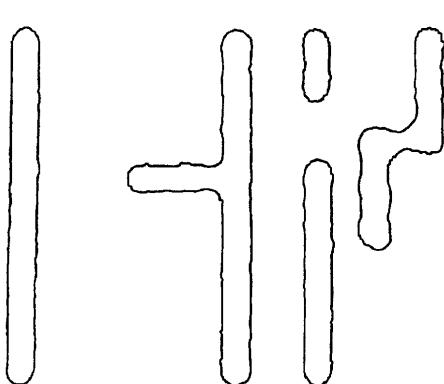


FIG. 10f

【図 10 g】

直線的マスクパターン 1008

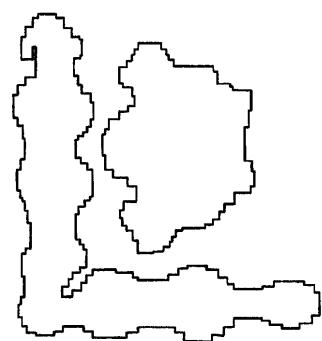


FIG. 10g

【図 10 h】

直線的ウェーハパターン 1009

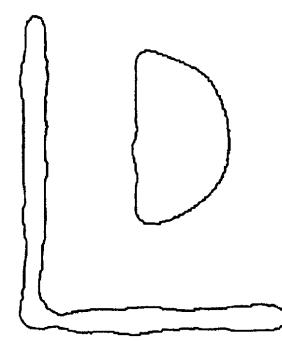


FIG. 10h

【図 1 2】

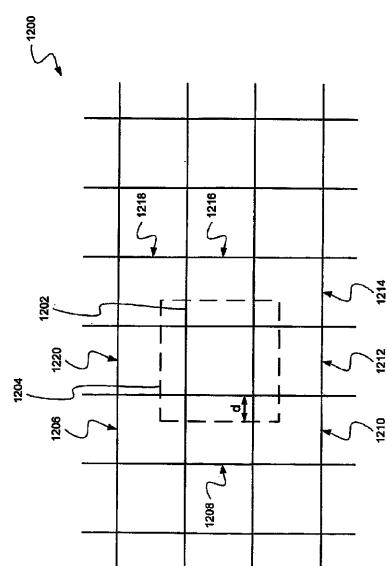


FIG. 12

【図 1 3】

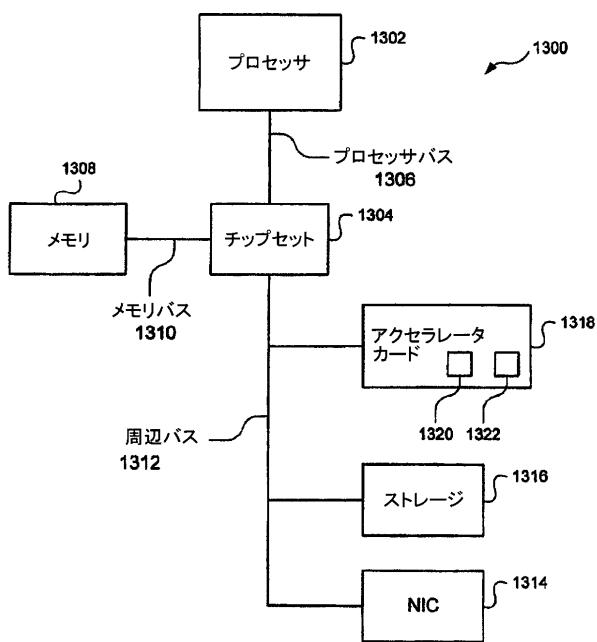


FIG. 13

【図 1 4】

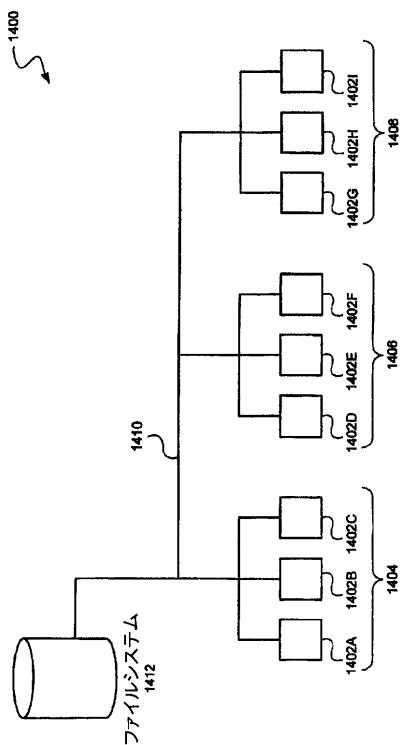


FIG. 14

【図 1 5】

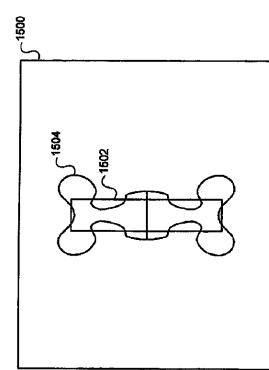


FIG. 15

【図 1 6】

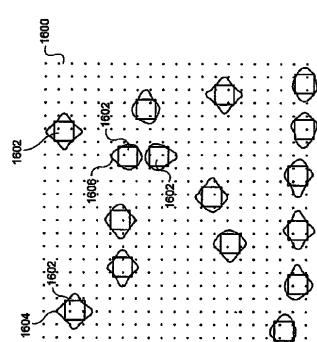
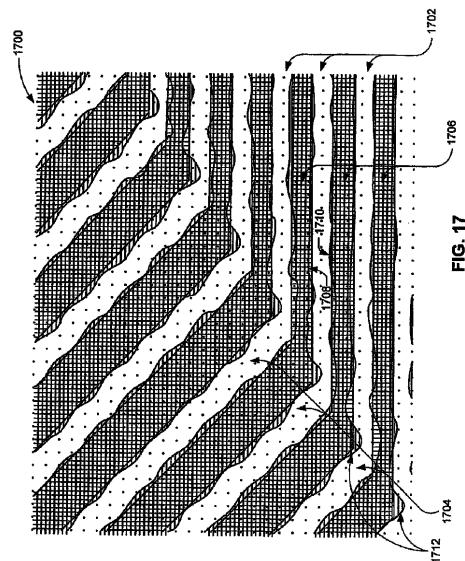


FIG. 16

【図17】



【図18B】

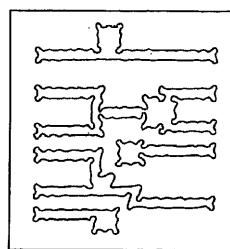


FIG. 18B

【図18A】

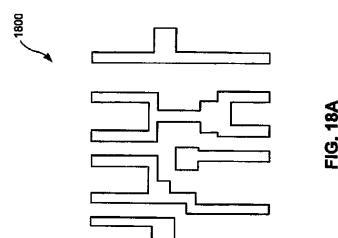


FIG. 18A

【図18C】

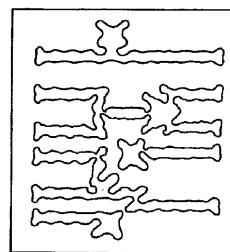


FIG. 18C

【図18D】

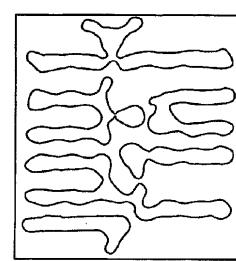


FIG. 18D

【図19B】

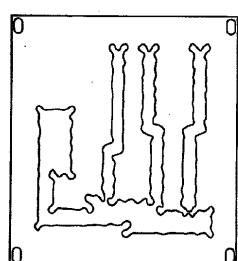


FIG. 19B

【図19A】

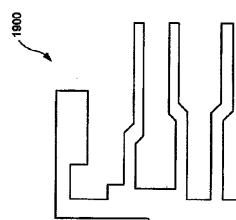


FIG. 19A

【図19C】

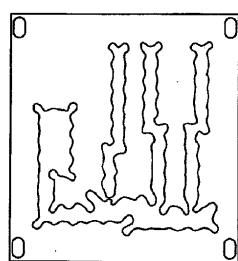


FIG. 19C

【図 19D】

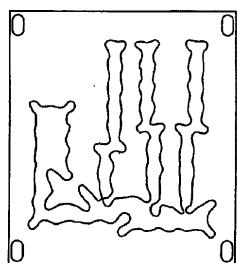


FIG. 19D

【図 19F】

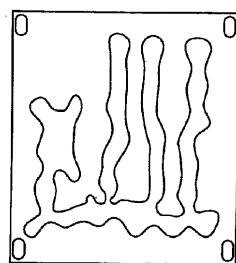


FIG. 19F

【図 19E】

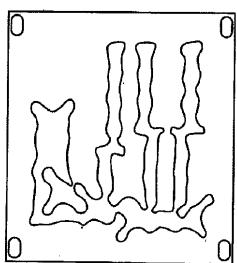


FIG. 19E

【図 20A】

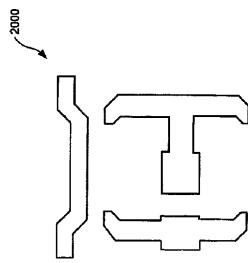


FIG. 20A

【図 20B】

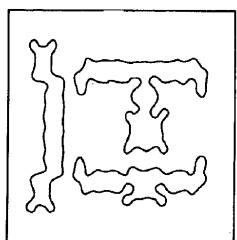


FIG. 20B

【図 20E】

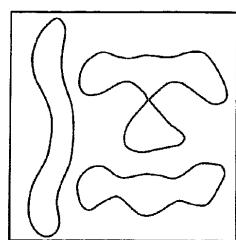


FIG. 20E

【図 20C】

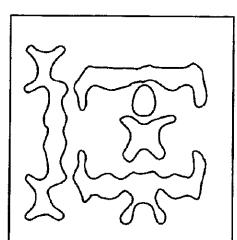


FIG. 20C

【図 20D】

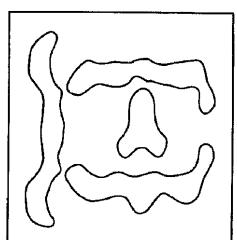


FIG. 20D

【図 8 a】

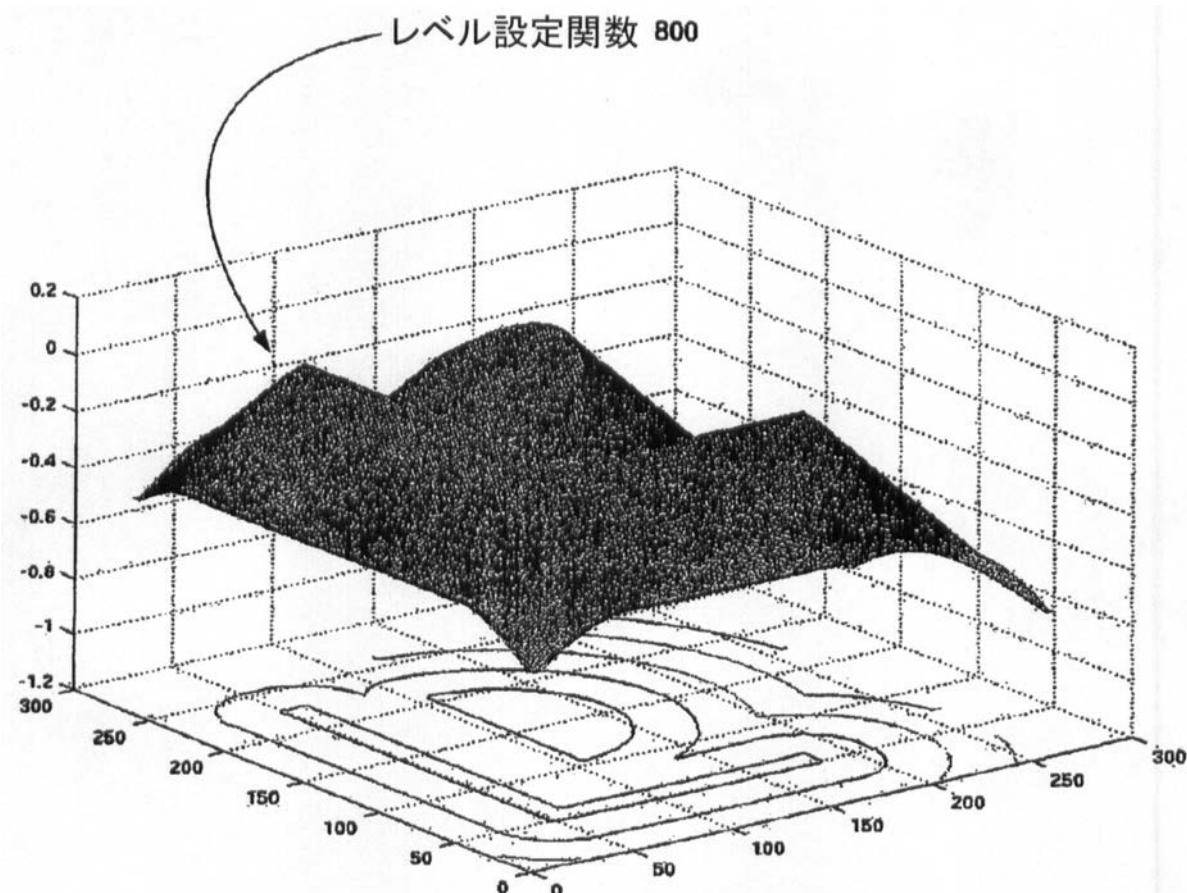
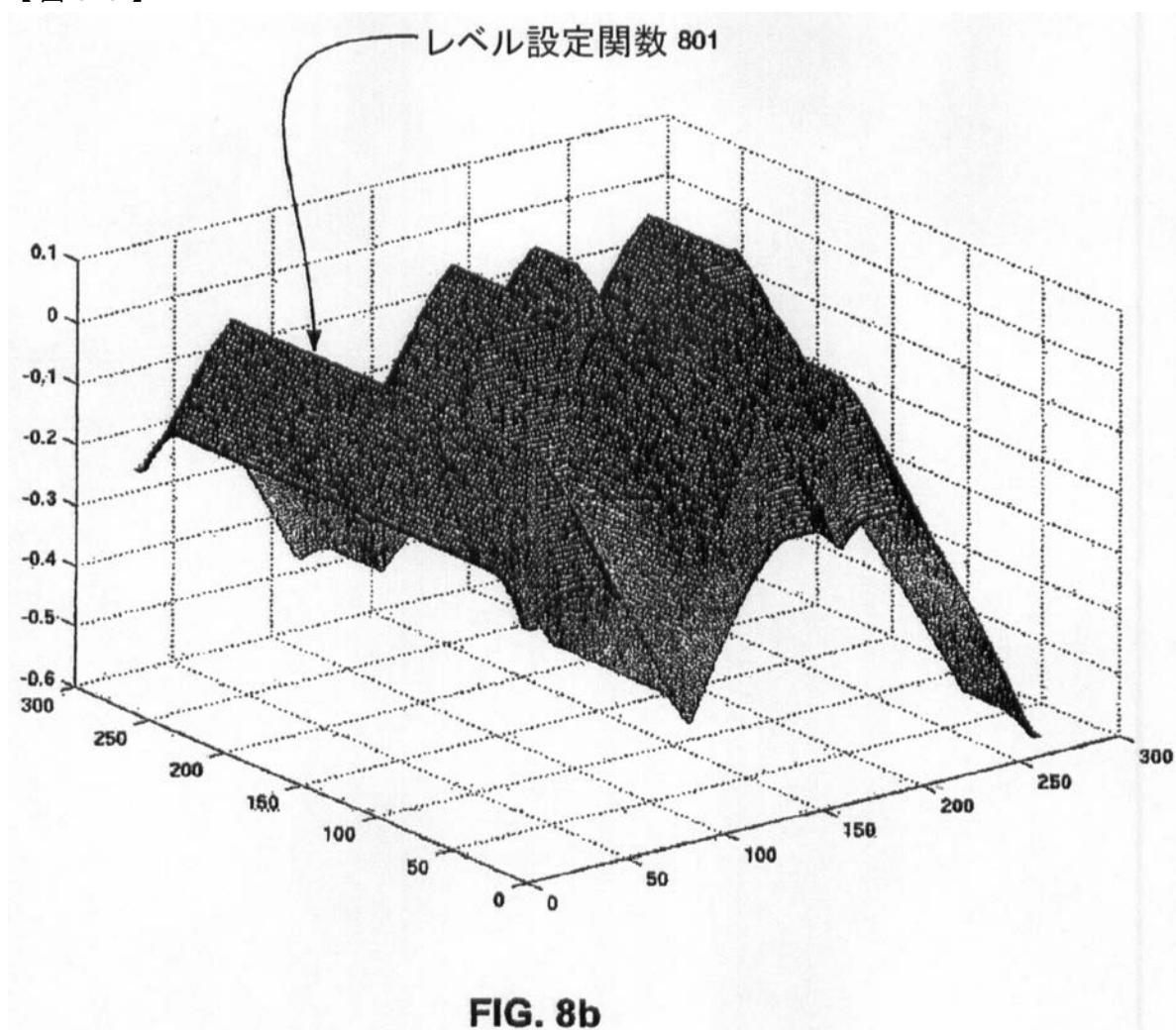


FIG. 8a

【図 8 b】



【図 10d】

レベル設定関数 1005

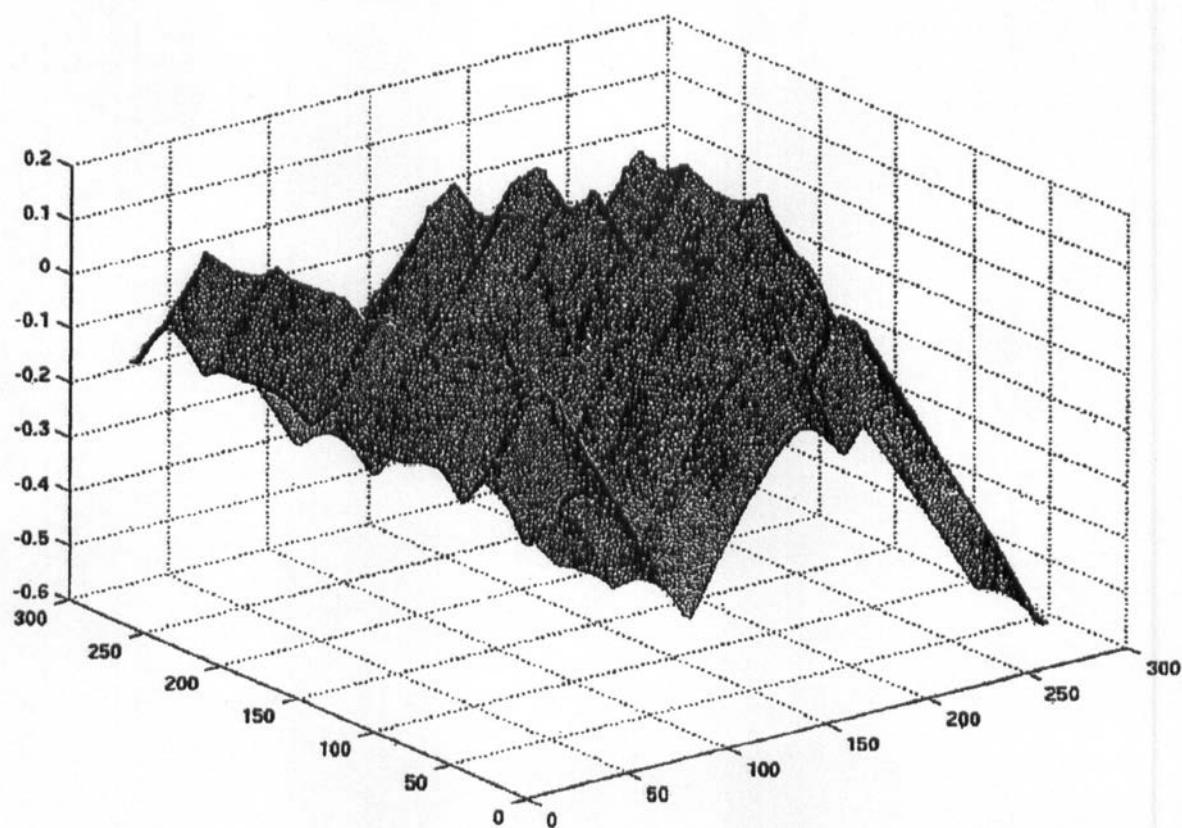


FIG. 10d

【図 11】

2次元部分空間におけるハミルトニアンH

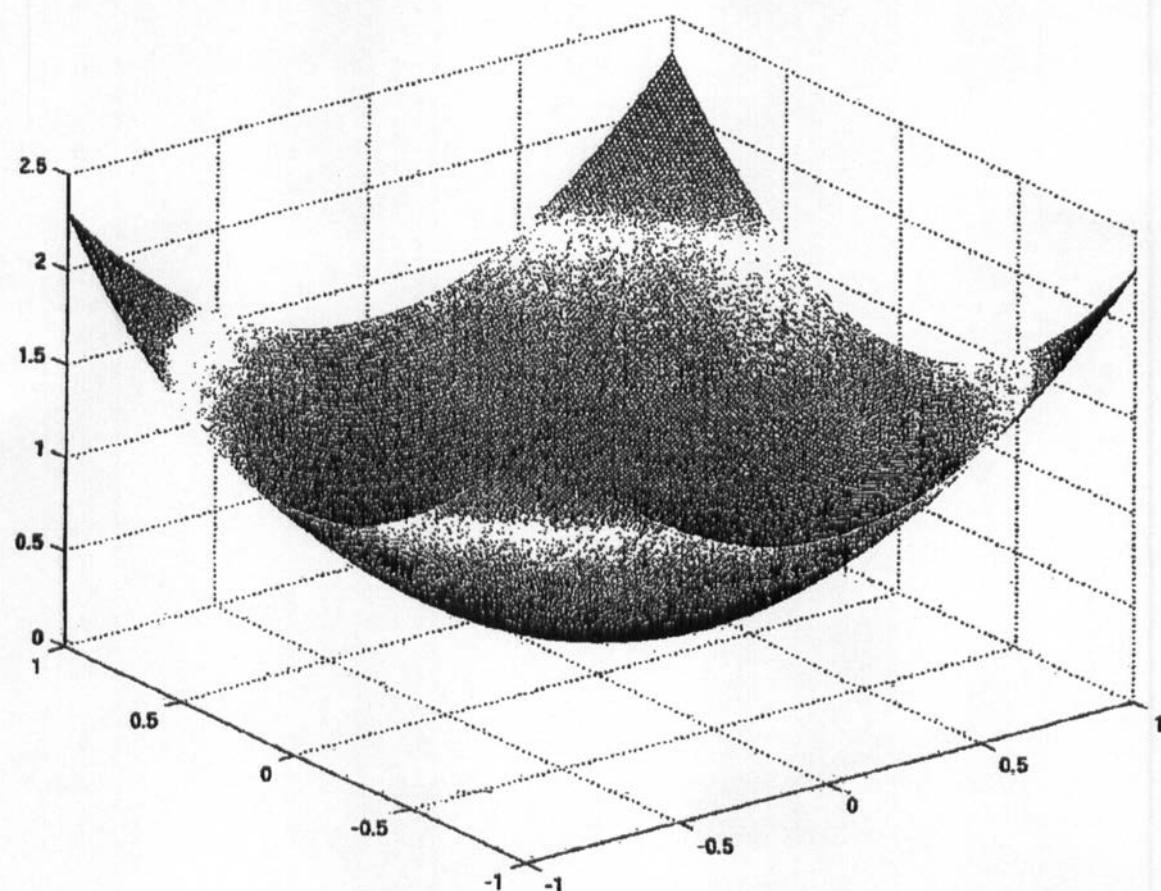


FIG. 11

フロントページの続き

(74)代理人 100109335

弁理士 上杉 浩

(72)発明者 エイブラムス ダニエル

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94041 マウンテン ヴィュー ホープ ストリート

786 #4

(72)発明者 ペン ダンピン

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94539 フリーモント アンバー ブレイス 4050

4

(72)発明者 オーシャー スタンリー

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 90272 パシフィック パリセイズ エンパリー ストリート 1058

審査官 新井 重雄

(56)参考文献 特開2003-255511(JP, A)

特開2005-092212(JP, A)

国際公開第2005/040917(WO, A1)

特開2002-261004(JP, A)

国際公開第2004/111600(WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G03F 1/70

H01L 21/027