

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2013-190828
(P2013-190828A)

(43) 公開日 平成25年9月26日(2013.9.26)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G03F 1/70 (2012.01)	G03F 1/70	2H095
G03F 1/36 (2012.01)	G03F 1/36	5B046
G06F 17/50 (2006.01)	G06F 17/50 658M	5B057
G06T 1/00 (2006.01)	G06T 1/00 305D	

審査請求 有 請求項の数 13 O L 外国語出願 (全 51 頁)

(21) 出願番号 特願2013-133377 (P2013-133377)
 (22) 出願日 平成25年6月26日(2013.6.26)
 (62) 分割の表示 特願2010-511279 (P2010-511279)
 の分割
 原出願日 平成20年6月3日(2008.6.3)
 (31) 優先権主張番号 11/757,805
 (32) 優先日 平成19年6月4日(2007.6.4)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (31) 優先権主張番号 60/935,713
 (32) 優先日 平成19年8月28日(2007.8.28)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 504151804
 エーエスエムエル ネザーランズ ビー.
 ブイ.
 オランダ国 ヴェルトホーフェン 550
 4 ディー アル, デ ラン 6501
 (74) 代理人 100079108
 弁理士 稲葉 良幸
 (74) 代理人 100109346
 弁理士 大貫 敏史
 (72) 発明者 イェ, ジュン
 アメリカ合衆国, カリフォルニア州 94
 306, パロ アルト, プライアント ス
 トリート 2658

最終頁に続く

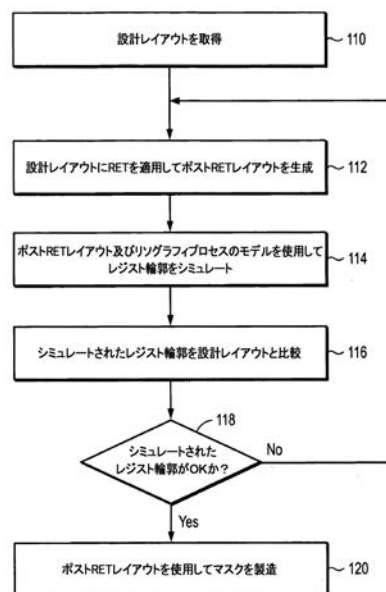
(54) 【発明の名称】 モデルベースのリソグラフィ誘導レイアウト設計を実行するための方法

(57) 【要約】

【課題】 効率的なモデルベースのサブレゾリューションアシストフィーチャ (MB - S R A F) を作成するための方法を提供する。

【解決手段】 S R A F ガイダンスマップ (S G M) が作成され、各設計ターゲットエッジ位置は、所与のフィールドポイントについて当該フィールドポイント上に配置された単一ピクセル S R A F がプロセスウィンドウに関する空間像を改善するか又は劣化させるかを投票する。一実施形態では、S G M を使用して、S R A F 配置ルールの決定及び/又は既配置 S R A F の微調整を行う。S G M は、マスクレイアウト内に S R A F を配置するために直接使用される。S R A F を含むマスクレイアウトデータが生成され、S R A F は S G M により配置される。S G M は、ピクセルが S R A F の一部として含まれる場合にそのピクセルがマスクレイアウト内のフィーチャのエッジ挙動に積極的に寄与するかどうかを各ピクセル値が示す像を含む。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

マスクレイアウト内にサブレゾリューションアシストフィーチャ(「SRAF」)を配置するための方法であって、

前記マスクレイアウトに関するSRAFガイドスマップを生成することであって、該SRAFガイドスマップは、ピクセルがサブレゾリューションアシストフィーチャの一部として含まれる場合に該ピクセルが前記マスクレイアウト内のフィーチャのエッジ挙動に積極的に寄与するかどうかを各ピクセル値が示す像であることと、

前記SRAFガイドスマップに従って前記マスクレイアウト内にサブレゾリューションアシストフィーチャを配置することと、
を含む方法。

10

【請求項 2】

SRAFガイドスマップを生成することが、

前記マスクレイアウトの像勾配マップを計算することと、

前記マスクレイアウト内の各フィールドポイントについて、前記像勾配マップを使用して前記フィールドポイントにおけるユニットソースに関する投票総計を計算することと、

前記SRAFガイドスマップ内の値を割り当てることであって、前記SRAFガイドスマップ内のピクセルにおける前記値が前記マスクレイアウト内の対応するフィールドポイントにおける投票総計であることと、

を含む、請求項 1 記載の方法。

20

【請求項 3】

前記フィールドポイントにおけるユニットソースに関する投票総計を計算することが、周波数領域で実行され、且つ、

露光ツールの光路を表す透過クロス係数の最も重要な固有ベクトルの逆フーリエ変換を計算することと、

前記マスクレイアウトのフーリエ変換を計算することと、

前記逆フーリエ変換に前記マスクレイアウトの前記フーリエ変換及び周波数の和平方を掛けて積を生成することと、

前記積の逆フーリエ変換を計算して前記SRAFガイドスマップを生成することと、
を含む、請求項 2 記載の方法。

30

【請求項 4】

SRAFガイドスマップを生成することが、

露光ツールの光路を表す透過クロス係数を使用して双線形SRAFガイドスマップカーネルを計算することと、

前記透過クロス係数を使用して線形SRAFガイドスマップカーネルを計算することと、

前記双線形SRAFガイドスマップカーネル及び前記マスクレイアウトを使用して部分的SRAFガイドスマップを計算することと、

前記線形SRAFガイドスマップカーネル及び前記マスクレイアウトを使用して第2の部分的SRAFガイドスマップを計算することと、

前記部分的SRAFガイドスマップと前記第2の部分的SRAFガイドスマップを結合することと、

を含む、請求項 1 記載の方法。

40

【請求項 5】

前記SRAFガイドスマップを使用してSRAF配置ルールを生成することをさらに含む、請求項 1 記載の方法。

【請求項 6】

前記マスクレイアウトが光近接効果補正を含む、請求項 1 記載の方法。

【請求項 7】

マスクレイアウトに関するSRAFガイドスマップを生成することであって、該SRAF

50

A F ガイダンスマップは、ピクセルがサブレスリジョンアシストフィーチャの一部として含まれる場合に該ピクセルが前記マスクレイアウト内のフィーチャのエッジ挙動に積極的に寄与するかどうかを各ピクセル値が示す像であることと、

前記 S R A F ガイダンスマップに従って前記マスクレイアウト内にサブレスリジョンアシストフィーチャを配置することと、
 を実行するための命令を含むコンピュータ可読媒体。

【請求項 8】

S R A F ガイダンスマップを生成することが、
 前記マスクレイアウトの像勾配マップを計算することと、
 前記マスクレイアウト内の各フィールドポイントについて、前記像勾配マップを使用して前記フィールドポイントにおけるユニットソースに関する投票総計を計算することと、
 前記 S R A F ガイダンスマップ内の値を割り当てることであって、前記 S R A F ガイダンスマップ内のピクセルにおける前記値が前記マスクレイアウト内の対応するフィールドポイントにおける投票総計になることと、
 を含む、請求項 7 記載のコンピュータ可読媒体。

10

【請求項 9】

前記フィールドポイントにおけるユニットソースに関する投票総計を計算することが、
 周波数領域で実行され、且つ、
 露光ツールの光路を表す透過クロス係数の最も重要な固有ベクトルの逆フーリエ変換を計算することと、
 前記マスクレイアウトのフーリエ変換を計算することと、
 前記逆フーリエ変換に前記マスクレイアウトの前記フーリエ変換及び周波数の和平方を掛けて積を生成することと、
 前記積の逆フーリエ変換を計算して前記 S R A F ガイダンスマップを生成することと、
 を含む、請求項 8 記載のコンピュータ可読媒体。

20

【請求項 10】

S R A F ガイダンスマップを生成することが、
 露光ツールの光路を表す透過クロス係数を使用して双線形 S R A F ガイダンスマップカーネルを計算することと、
 前記透過クロス係数を使用して線形 S R A F ガイダンスマップカーネルを計算することと、
 前記双線形 S R A F ガイダンスマップカーネル及び前記マスクレイアウトを使用して部分的 S R A F ガイダンスマップを計算することと、
 前記線形 S R A F ガイダンスマップカーネル及び前記マスクレイアウトを使用して第 2 の部分的 S R A F ガイダンスマップを計算することと、
 前記部分的 S R A F ガイダンスマップと前記第 2 の部分的 S R A F ガイダンスマップを結合することと、
 を含む、請求項 7 記載のコンピュータ可読媒体。

30

【請求項 11】

前記 S R A F ガイダンスマップを使用して S R A F 配置ルールを生成することをさらに含む、請求項 7 記載のコンピュータ可読媒体。

40

【請求項 12】

前記マスクレイアウトが光近接効果補正を含む、請求項 7 記載のコンピュータ可読媒体。

【請求項 13】

サブレスリジョンアシストフィーチャを含むマスクレイアウトデータであって、前記サブレスリジョンアシストフィーチャが S R A F ガイダンスマップに従って配置され、該 S R A F ガイダンスマップは、ピクセルがサブレスリジョンアシストフィーチャの一部として含まれる場合に該ピクセルがマスクレイアウト内のフィーチャのエッジ挙動に積極的に寄与するかどうかを各ピクセル値が示す像である、マスクレイアウトデータ

50

。

【請求項 14】

前記 S R A F ガイダンスマップが、
露光ツールの光路を表す透過クロス係数の最も重要な固有ベクトルの逆フーリエ変換を計算することと、

前記マスクレイアウトのフーリエ変換を計算することと、

前記逆フーリエ変換に前記マスクレイアウトの前記フーリエ変換及び周波数の和平方を掛けて積を生成することと、

前記積の逆フーリエ変換を計算して前記 S R A F ガイダンスマップを生成することと、
によって生成される、請求項 13 記載のマスクレイアウトデータ。

10

【請求項 15】

初期マスクレイアウトが光近接効果補正を含む、請求項 14 記載のマスクレイアウトデータ。

【請求項 16】

前記 S R A F ガイダンスマップが、

露光ツールの光路を表す透過クロス係数を使用して双線形 S R A F ガイダンスマップカーネルを計算することと、

前記透過クロス係数を使用して線形 S R A F ガイダンスマップカーネルを計算することと、

前記双線形 S R A F ガイダンスマップカーネル及び前記マスクレイアウトを使用して部分的 S R A F ガイダンスマップを計算することと、

20

前記線形 S R A F ガイダンスマップカーネル及び前記マスクレイアウトを使用して第 2 の部分的 S R A F ガイダンスマップを計算することと、

前記部分的 S R A F ガイダンスマップと前記第 2 の部分的 S R A F ガイダンスマップを結合することと、

によって生成される、請求項 13 記載のマスクレイアウトデータ。

【請求項 17】

初期マスクレイアウトが光近接効果補正を含む、請求項 16 記載のマスクレイアウトデータ。

【請求項 18】

30

サブレゾリューションアシストフィーチャを含むマスクレイアウトを有するマスクであって、前記サブレゾリューションアシストフィーチャが S R A F ガイダンスマップに従って配置され、該 S R A F ガイダンスマップは、ピクセルがサブレゾリューションアシストフィーチャの一部として含まれる場合に該ピクセルが前記マスクレイアウト内のフィーチャのスルーフォーカス及びスルードーズエッジ挙動に積極的に寄与するかどうかを各ピクセル値が示す像である、マスク。

【請求項 19】

前記 S R A F ガイダンスマップが、

露光ツールの光路を表す透過クロス係数の最も重要な固有ベクトルの逆フーリエ変換を計算することと、

40

前記マスクレイアウトのフーリエ変換を計算することと、

前記逆フーリエ変換に前記マスクレイアウトの前記フーリエ変換及び周波数の和平方を掛けて積を生成することと、

前記積の逆フーリエ変換を計算して前記 S R A F ガイダンスマップを生成することと、
によって生成される、請求項 18 記載のマスク。

【請求項 20】

初期マスクレイアウトが光近接効果補正を含む、請求項 19 記載のマスク。

【請求項 21】

前記 S R A F ガイダンスマップが、

露光ツールの光路を表す透過クロス係数を使用して双線形 S R A F ガイダンスマップカー

50

ーネルを計算することと、

前記透過クロス係数を使用して線形 S R A F ガイダンスマップカーネルを計算することと、

前記双線形 S R A F ガイダンスマップカーネル及び前記マスクレイアウトを使用して部分的 S R A F ガイダンスマップを計算することと、

前記線形 S R A F ガイダンスマップカーネル及び前記マスクレイアウトを使用して第 2 の部分的 S R A F ガイダンスマップを計算することと、

前記部分的 S R A F ガイダンスマップと前記第 2 の部分的 S R A F ガイダンスマップを結合することと、

によって生成される、請求項 18 記載のマスク。

10

【請求項 22】

初期マスクレイアウトが光近接効果補正を含む、請求項 21 記載のマスク。

【請求項 23】

マスクレイアウト内の 1 つ又は複数のフィーチャの位置を決定するための方法であって、

前記マスクレイアウト内に第 1 のフィーチャを配置することと、

前記第 1 のフィーチャの配置に基づいてマスクシミュレーションを実行することであって、該マスクシミュレーションを実行することが S R A F ガイダンスマップを生成することを含むことと、

前記シミュレーションから得られた結果に基づいて前記マスクレイアウト内に第 2 のフィーチャを配置するための位置を決定することと、

を含む方法。

20

【請求項 24】

前記決定された位置に前記第 2 のフィーチャを配置することと、

前に配置されたフィーチャに基づいてマスクシミュレーションを実行する前記ステップを反復して繰り返し、前記マスクレイアウト内に他のフィーチャを配置するための位置を決定し、所望の数のフィーチャが前記マスク設計内に配置されるまで前記他のフィーチャを配置することと、

をさらに含む、請求項 23 記載の方法。

【請求項 25】

O P C を使用して前記マスクレイアウトを最適化することをさらに含む、請求項 24 記載の方法。

30

【請求項 26】

超解像技術を使用して前記マスクレイアウトを最適化することをさらに含む、請求項 24 記載の方法。

【請求項 27】

複数のレイアウトガイダンスマップを生成することをさらに含み、それぞれのレイアウトガイダンスマップがマスクレイアウトのシミュレートされた結像性能を表す、請求項 24 記載の方法。

【請求項 28】

各 L G M が複数のピクセル値を含む 2 次元像を含み、フィーチャの配置が前記ピクセル値のうちの 1 つ又は複数に基づいて計算される、請求項 27 記載の方法。

40

【請求項 29】

前記ピクセル値のそれぞれが前記ピクセル上に配置された前記フィーチャの一部分の前記マスクレイアウト内の 1 つ又は複数のパターンの印刷適性に対する効果を示す、請求項 28 記載の方法。

【請求項 30】

印刷適性に対する前記効果が否定的効果である、請求項 29 記載の方法。

【請求項 31】

前記ピクセル上に配置された前記フィーチャの前記一部分によって前記 1 つ又は複数の

50

パターンの印刷適性が強化される、請求項 29 記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

[0001] 本発明は、一般に、フォトリソグラフィのための超解像技術に関し、詳細には、モデルベースのリソグラフィ誘導レイアウト (model-based lithography guided layout) のためのシステム及び方法に関する。

【背景技術】

【0002】

[0002] 例えば、集積回路 (IC) の製造などにリソグラフィ装置を使用することができる。その場合、マスクは、ICの個々のレイヤに対応する回路パターンを含むことができ、このパターンを放射感応性材料 (レジスト) のレイヤでコーティングされた基板 (シリコンウェーハ) 上のターゲット部分 (例えば、1つ又は複数のダイを含む) 上に結像することができる。一般に、1つのウェーハは、投影システムを介して一度に1つずつ連続的に照射される隣接するターゲット部分のネットワーク全体を含む。あるタイプのリソグラフィ投影装置では、マスクパターン全体をターゲット部分上に一度に露光することで各ターゲット部分が照射される。上記装置は、一般にウェーハステッパと呼ばれる。ステップアンドスキャン装置と一般に呼ばれる別の装置では、投影ビームが当たったマスクパターンを所与の基準方向 (「スキャン」方向) に漸進的にスキャンしながら、これに同期してこの方向に平行又は逆平行に基板テーブルをスキャンすることで各ターゲット部分が照射される。一般に、投影システムは、倍率係数 M (一般に、 < 1) を有するので、基板テーブルがスキャンされる速度 V は、係数 M にマスクテーブルのスキャン回数に乗じた値になる。本明細書に記載するリソグラフィデバイスに関する詳細情報は、例えば、本明細書に参照により組み込むものとする米国特許第 6,046,792 号から入手することができる。

10

20

【0003】

[0003] リソグラフィ投影装置を用いた製造プロセスでは、放射感応性材料 (レジスト) のレイヤで少なくとも部分的に覆われた基板上にマスクパターンが結像される。この結像ステップに先立って、プライミング、レジストコーティング、及びソフトベークなどの種々の手順を基板に対して行うことができる。露光後に、基板に対して、結像されたフィーチャの露光後ベーク (PEB)、現像、ハードベーク及び測定/検査などの他の手順を実行することができる。この一連の手順は、デバイス、例えば、ICの個々のレイヤにパターン形成する基礎として使用される。そのようなパターン形成されたレイヤについて、次に、個々のレイヤを完成させるためのエッチング、イオン注入 (ドーピング)、金属化、酸化、化学的機械的研磨などの種々のプロセスを行うことができる。幾つかのレイヤが必要な場合、手順全体、又はその変形手順を新しいレイヤごとに繰り返す必要がある。最後に、デバイスのアレイが基板 (ウェーハ) 上に形成される。これらのデバイスは、次に、ダイシング又はのこ引きなどの技術によって互いに分離され、それによって個々のデバイスをピンなどに接続されたキャリア上を実現することができる。

30

【0004】

[0004] 話を分かりやすくするため、以下、投影システムを「レンズ」と呼ぶことがある。しかし、この用語は、例えば、屈折光学系、反射光学系、及び反射屈折光学系を含む各種投影システムを含むものと広義に解釈すべきである。放射システムも、放射投影ビームを誘導し、整形し、又は制御する任意のこれらの設計タイプに従って動作するコンポーネントを含むことができ、そのようなコンポーネントも、以下に集合的又は単独で「レンズ」と呼ぶことがある。さらに、リソグラフィ装置は、2つ以上の基板テーブル (及び/又は2つ以上のマスクテーブル) を有するタイプであってもよい。そのような「マルチステージ」デバイスでは、追加のテーブルを平行して使用するか、又は1つ又は複数の他のテーブル上で準備ステップを実行しながら1つ又は複数の他のテーブルを露光に使用することができる。例えば、本明細書に参照により組み込むものとする米国特許第 5,969,

40

50

441号には、ツインステージリソグラフィ装置が記載されている。

【0005】

[0005] 上記フォトリソグラフィマスクは、シリコンウェーハ上に集積する回路コンポーネントに対応する幾何学パターンを含む。そのようなマスクを作成するためのパターンは、このプロセスが多くの場合EDA（電子設計オートメーション）と呼ばれるCAD（コンピュータ支援設計）プログラムを用いて生成される。大半のCADプログラムは、機能マスクを作成するために一組の所定のデザインルールに従う。これらのルールは、処理及び設計の制限によって設定される。例えば、デザインルールは、回路デバイス（ゲート、コンデンサなど）又は相互接続線間の空間許容範囲を定義して、回路デバイス又は線が好ましくない形で相互動作しないようにする。デザインルールの限界は、「クリティカルディメンション」（CD: Critical Dimension）とも呼ばれる。回路のクリティカルディメンションは、線若しくは穴の最小幅又は2本の線若しくは2つの穴の間の最小空間として定義することができる。それ故、CDは、設計された回路の全体のサイズと密度とを決定する。集積回路の製作の目標の1つが元の回路設計をウェーハ上に（マスクを介して）忠実に再現することであるのは当然である。

10

【0006】

[0006] 集積回路業界は、低コストでデバイス機能の増大を推進することにより、その発端以来、著しい成長率を維持してきた。この成長を可能にする主な要因の1つは、集積回路パターンの一部として形成可能な最小フィーチャサイズを着実に減少させる光リソグラフィの能力であった。フィーチャサイズ及びコストの着実な低下と、それに対応して回路あたりにプリントされるフィーチャ密度の増加は、一般に、「ムーアの法則」又はリソグラフィ「ロードマップ」と呼ばれる。

20

【0007】

[0007] リソグラフィプロセスは、マスク又はレチクル上にマスターイメージを作成すること（マスクとレチクルは本明細書では区別なく使用される）と、次にウェーハ上にトランジスタゲート、コンタクトなどの機能要素を確定するという設計意図に一致するパターンを作成するためにマスクからレジストで覆われた半導体ウェーハ上にイメージを投影することを含む。設計仕様の範囲内でウェーハ上にマスターパターンが正常に再現される回数が多いほど、完成したデバイス又は「チップ」あたりのコストが低くなる。露光ツールの結像縮小率のためにマスクレベルパターンがウェーハレベルパターンより数倍大きくなる可能性があることを除いては、最近まで、マスクパターンはウェーハレベルで所望のパターンのほぼ正確な複製であった。マスクは、典型的に、石英又は他の透明な基板に吸光材料を付着させパターン形成することによって形成される。次にマスクは、「ステップ」又は「スキャナ」として知られる露光ツール内に置かれ、そこで特定の露光波長の光がマスクを通過してウェーハ上に誘導される。光は、マスクのクリア域を透過するが、吸収レイヤによって覆われた領域では所望の量だけ、典型的には90~100%の量だけ減衰される。マスクの一部の領域を通過する光は、所望の位相角だけ、典型的には180度の整数倍だけ位相シフトすることもできる。露光ツールの投影光学系によって収集された後、結果として生じる空間像パターンがウェーハ上に集束される。ウェーハ表面に付着させた感光材料（フォトリソレジスト又はレジスト）は光と相互作用してウェーハ上に所望のパターンを形成し、次にそのパターンはウェーハ上の基礎レイヤ内に転写されて、周知のプロセスにより機能的電気回路を形成する。

30

40

【0008】

[0008] 近年、パターン形成されるフィーチャサイズは、ウェーハ上にマスクパターンを転写するために使用される光の波長より著しく小さくなっている。「サブ波長リソグラフィ（sub-wavelength lithography）」に向かうこのトレンドの結果、リソグラフィプロセスにおいて十分なプロセスマージンを維持する難しさが増してきた。波長に対するフィーチャサイズの比率が減少するにつれて、マスク及び露光ツールによって作成される空間像がコントラストと鮮明さを失う。この比率は、露光ツールの開口数（NA）に最小フィーチャサイズ W_f を掛けて波長で割ったものとして定義される k_1 係数によって定量化され

50

、すなわち、 $k_1 = NA \cdot W_f / \lambda$ になる。露光波長を選択する際の実用的な柔軟性は限られており、露光ツールの開口数は物理的限界に近づいている。その結果、デバイスフィーチャサイズを連続的に低減するには、リソグラフィプロセスにおける k_1 係数をますます積極的に低減する必要があり、すなわち、光学結像システムの伝統的な解像限界で又はそれ以下で結像する必要がある。

【0009】

[0009] Low- k_1 リソグラフィを可能にするための新しい方法は、もはや最終ウェーハレベルパターンの正確なコピーではないマスク上のマスターパターンを使用している。マスクパターンは、パターン密度又はピッチの関数としてパターンフィーチャのサイズ及び配置に関して調整される場合が多い。その他の技法は、光近接効果補正(Optical Proximity Correction)又はOPCとして知られるマスクパターン(「セリフ(serif)」、「ハンマーヘッド(hammerhead)」、及びその他のパターン)上の余分なコーナーの追加又は削除、並びにウェーハ上に再現する予定のないその他の形状の追加を含む。サブレゾリューションアシストフィーチャ(SRAF: Sub-Resolution Assisting Feature)又は散乱バー(scattering bar)としても知られるこれらのノンプリント「アシストフィーチャ(assist feature)」の唯一の目的は、「メインフィーチャ(main feature)」の印刷適性を強化することである。SRAFは、典型的には、メインフィーチャの印刷適性がフォーカス及び/又はドーズの変化に対してよりロバストになるように、メインフィーチャの近くに配置された小さいバーである。これらの方法はいずれも集合的に超解像技術(RET: Resolution Enhancement Technology)と呼ばれる場合が多い。 k_1 の減少につれて、近接効果の大きさは劇的に増加する。現在のハイエンド設計では、ますます多くのデバイスレイヤがRETを必要とし、ほとんどすべてのフィーチャエッジは、プリントパターンが適度に設計意図に似ることを保証するために、ある程度の調整を必要とする。このような広範囲にわたるRETの適用の実現及び検証は、詳細なフルチップコンピュータリソグラフィプロセスモデリング(full-chip computational lithography process modeling)によってのみ可能になり、このプロセスは一般にモデルベースのRET(model-based RET)と呼ばれる。("Full-Chip Lithography Simulation and Design Analysis - How OPC Is Changing IC Design," C. Spence, Proc. SPIE, Vol.5751, pp.1-14 (2005)及び"Exploring New High Speed, Mask Aware RET Verification Flows," P. Martin et al., Proc. SPIE 5853, pp. 114-123, (2005)を参照されたい。)

10

20

30

【0010】

[0010] 高度なマスクセットの製造コストは着実に増加している。現在、そのコストは、高度デバイス用のマスクセットあたり100万ドルをすでに超えている。加えて、ターンアラウンドタイムは常に重大な関心事である。その結果、リソグラフィ主導RET設計は、コストとターンアラウンドタイム両方の低減を支援し、半導体製造プロセスの不可欠な部分になっている。

【0011】

[0011] 図1は、設計レイアウトに超解像技術を適用するための従来技術の方法のフローチャートである。ステップ110では、拡散レイヤ、金属トレース、コンタクト、及び電界効果トランジスタのゲートなどの半導体デバイスの機能要素に対応するパターンの形状及びサイズを記述する設計レイアウトを入手する。これらのパターンは、最終的なデバイスの特定の電気的機能性及び仕様を達成するために、リソグラフィプロセスによってウェーハ上に再現する必要のある物理的形状及びサイズの「設計意図(design intent)」を表す。設計レイアウトは、「プレRET(pre-RET)」レイアウト又はターゲットパターンとも呼ばれる。

40

【0012】

[0012] 上述したように、所望の構造をプリントするために使用されるマスク又はレチクル上にパターンを作成するために、この設計レイアウトに対して多数の変更を行う必要がある。ステップ112では、実際にプリントされたパターンにおいて設計意図に近づけるために、この設計レイアウトに種々のRET方法を適用する。結果の「ポストRET(po

50

st-RET)」マスキレイアウトは、「プレRET」設計レイアウトとは大幅に異なる場合が多い。プレRETレイアウトとポストRETレイアウトはいずれも、例えば、GDS又はOASISフォーマットを含むがこれらに限定されない多角形ベースの階層データファイルとしてリソグラフィシミュレーションシステムに提供することができる。

【0013】

[0013] ステップ114では、一例として、ポストRETレイアウト及びリソグラフィプロセスのモデルを使用して、ウェーハ上のレジスト輪郭をシミュレートする。このモデルは、ポストRETレイアウトから空間像(AI)への変換を記述する光学モデルコンポーネントと、AIから最終レジスト像(RI)への変換を記述するレジストモデルコンポーネントとを含む。ステップ116では、シミュレートされたレジスト輪郭をRIから抽出し、ターゲット設計レイアウトと比較し、ステップ118では、シミュレートされたレジスト輪郭が受け入れ可能(すなわち、定義済み誤差許容範囲以内)であるかどうかを判断する。そのレジスト輪郭が受け入れ可能ではない場合、この方法はステップ112に戻り、そこでもう一度繰り返して、プレRETレイアウトにRET方法を適用する。シミュレートされたレジスト輪郭が受け入れ可能である場合、ポストRETレイアウトを出力し、それを使用して実際のマスクを製造する(ステップ120)。

10

【0014】

[0014] リソグラフィシミュレーションの中心部分は、リソグラフィプロセスのモデルの光学モデルコンポーネントであり、露光ツール内の投影及び像形成プロセスをシミュレートするものである。光学モデルは、開口数及び部分的コヒーレンス設定、照明波長、イルミネータ光源形状、及びおそらく収差又はフレアなどのシステムの不完全性などを含むがこれらに限定されない照明及び投影システムの重要なパラメータを取り入れる必要がある。透過クロス係数(TCC: transmission cross coefficient)を使用して、投影システム及び種々の光学効果、例えば、高NA回折、スカラ又はベクトル、偏光、及び薄膜多重反射をモデリングすることができる。TCCは、固有級数展開を使用して、畳み込みカーネルに分解することができる。計算速度のために、この級数は通常、固有値のランキングに基づいて切り捨てられ、その結果、カーネルの有限集合が得られる。保持されるカーネルが多いほど、切り捨てによって持ち込まれる誤差は少なくなる。その全体を本明細書に参照により組み込むものとする米国特許第7,003,758号に記載されたリソグラフィシミュレーションシステムは、計算時間に対して否定的影響を及ぼさず、非常に多数の畳み込みカーネルを使用する光学シミュレーションを可能にし、従って、非常に正確な光学モデリングを可能にする。

20

30

【0015】

[0015] リソグラフィプロセスが65nmノード以下に入ったので、最先端チップ設計は高度露光ツールで使用される光の波長より小さい最小フィーチャサイズを有する。サブソリューションアシストフィーチャ(SRAF: sub-resolution assist feature)は、OPC技法が良好な結果をもたらす場合でも不可欠なものになる。典型的に、OPCは、レジスト像(RI)輪郭が公称条件で設計ターゲットに十分近くなるように、設計レイアウトを変更する。しかし、プロセスウィンドウ(PW: process window)は、余分なフィーチャなしで、かなり小さい。リソグラフィプロセスにおいて十分なプロセスマージンを維持するために、より広範囲のデフォーカス及びデルタドーズシナリオの全域でメインフィーチャの印刷適性を強化するためにSRAFが必要である。

40

【0016】

[0016] レイアウト自体については、メインフィーチャパターンの相対位置もPWサイズにおいて重要な役割を果たしている。例えば、1次元パターンの場合、設計は、結果的に非常に低い印刷適性をもたらす反復パターンの周期である禁制ピッチを回避しなければならない。特定の禁制ピッチの場合、いずれのSRAF又はOPCも望ましいPWをもたらすのに役に立たない。1次元パターン(線と空間のパターンなど)の場合、レイアウト設計において禁制ピッチを回避するための一組のルールを決定することは比較的容易である。しかし、典型的なチップ設計は、複雑な2次元幾何形状を有する多くのパターンから構

50

成され、単純なルールではレイアウトの不良配置（例えば、禁制ピッチによるもの）を回避して、その空間を効率的に使用する設計を提供することができない。

【0017】

[0017] 従って、複雑な種々の2次元ターゲットパターンに対処することができ、既知のOPC技法を使用して得られる補正を超えて、結果的な結像性能をさらに改善するように、マスク形成プロセスを改善するための方法及び/又はプロセスが大いに必要とされている。

【発明の概要】

【0018】

[0018] 上記を考慮すると、本発明は、マスクレイアウト内のメイン又はターゲットフィーチャ（すなわち、結像すべきフィーチャ）の好ましい位置を決定するためのモデルベースの手法に関する。一般に、本発明の方法は、1つ又は複数のターゲットフィーチャをマスク設計内に配置し、次に、例えば、米国特許出願第11/757,805号に記載されているSRAFガイダンスマップ（SGM: SRAF Guidance Map）の生成を含むがこれに限定されないシミュレーションプロセスを実行し、その後、SGMを使用してマスク設計内に次に配置すべきターゲットフィーチャに関する最適位置の決定を支援する、反復プロセスを実行する。1つ又は複数の追加のフィーチャがマスク設計内に配置されると、現在マスク設計内にあるすべてのフィーチャを使用して他のシミュレーションプロセスを実行し、このシミュレーションの結果を使用してマスク設計内に追加のフィーチャを配置する。すべてのフィーチャがマスク設計内に配置されるまで、この反復するシミュレーション及びフィーチャ配置プロセスを続行する。上記のプロセスは本明細書ではモデルベースのリソグラフィ誘導レイアウト（LGL: Lithography guided layout）と呼ばれる。設計が完了すると、マスクに対してOPC及びRET処理を実行することができる。マスクレイアウト内で所与のフィーチャを移動又は再位置決めできる量は典型的に全体的なマスクレイアウトを左右するデザインルールによって決定されることは注目に値する。

10

20

【0019】

[0019] より具体的には、本発明のモデルベースのLGL方法は、複数のレイアウトガイダンスマップ（LGM: Layout Guidance Map）の生成を含む。それぞれのLGMは、適切なシミュレーションモデルを使用して生成され、所与のLGMを生成するために使用される関連マスクに関する結像性能を表す。一実施形態では、LGMは、所与のマスクの結像性能に対応するピクセル値によって表される2次元（2D）像であり、LGMの各ピクセル値は、所与のピクセルが新しいライン又はフィーチャ（すなわち、パターン）の配置に適しているかどうかを示し、ピクセル値が高いほど、新しいパターンがこのピクセル上に配置される場合に既存のパターンの印刷適性に対する寄与率が高くなり、ピクセル値が低いほど、新しいパターンがこのピクセル上に配置される場合に既存パターンの印刷適性に対する否定的で反対の影響が大きくなる。換言すれば、所与のマスクについてLGMが生成されると、新しいフィーチャを配置すべき領域についてLGMを介して分析し、この新しい位置に配置されたフィーチャがマスク内にすでに存在するフィーチャのプリントを強化するか、あるいはマスク内にすでに存在するフィーチャのプリントに否定的な影響を及ぼすかを判断する。前者の場合、新しいフィーチャは指示された位置に配置され、後者の場合、そのフィーチャがマスク内に存在するフィーチャの結像を強化するか又は少なくともプリントに対する否定的影響を低減するように新しいフィーチャの配置を（許容限度内で）シフトすることが可能であるかどうかを判断する。これが完了すると、考慮中の新しいフィーチャをマスク設計に追加し、その新しいフィーチャを含むように変更されたマスクについて新しいLGM（すなわち、シミュレーション）を実行し、その後、マスクに次に追加すべきフィーチャ（又は一組のフィーチャ）についてプロセスを繰り返す。上記の通り、すべてのターゲットフィーチャが処理されるまで、このプロセスを繰り返す。

30

40

【0020】

[0020] LGLプロセスにより、プロセスウィンドウ（process window）とスルーフォーカス（through focus）及びスルーデルタドーズ（through delta dose）についてLGM

50

を最適化する。また、LGMはエッジポイントごとの重み付けを可能にし、それにより、重要なメインフィーチャの最適化を可能にする。本発明の一実施形態では、米国特許出願第11/757,805号に開示されているSRAGガイドスマップ(SGM)と同じ方法でLGMを計算する。しかし、本発明のプロセスでは、結像プロセスをシミュレート可能な任意の適切なシミュレーションモデルを使用することができる。他の実施形態では、その全体を本明細書に参照により組み込むものとする米国特許第7,247,574号に開示されているような干渉マップを使用して、LGMを形成することができる。

【0021】

[0021] 上記の通り、本発明のプロセスの一実施形態では、マスク設計内にターゲットパターンを形成するパターンの配置について順次対処する。具体的には、それぞれの反復において、1つ又は幾つかのメインパターンをマスク設計内に配置し、すべての既存のパターン(すなわち、すでにマスク設計内に配置されているもの)に関する新しいSGMを計算する。このSGMによって、マスク設計内に次に配置すべきメインパターン又はフィーチャに関する最良位置又は最悪位置に関する情報が得られ、その後、SGMの結果に基づいてこれらのフィーチャをマスク設計内に配置する。すべてのパターン/フィーチャがマスク設計(すなわち、マスクレイアウト)に追加されるまで、このプロセスを繰り返す。

10

【0022】

[0022] 本発明は、従来技術の方法を上回る重大な利点を提供する。最も重要なことに、本発明は、マスク設計内のメインフィーチャ(すなわち、ターゲットフィーチャ)の配置を最適化するための系統的で高速かつ費用効果の高いモデルベースの方法を提供する。加えて、本発明は、既存のプロセスと比較してDFM(Design for Manufacturability)機能を改善し、サブ波長リソグラフィプロセスにおいて改善されたプロセスマージンを提供することができる。

20

【0023】

[0023] 本稿では、ICの製造における本発明の使用への特定の言及がなされているかもしれないが、本発明は、多数の他の可能な用途を有することを明確に理解されたい。例えば、磁気ドメインメモリ、液晶表示パネル、薄膜磁気ヘッド用の集積光学系、案内及び検出パターンの製造に採用することができる。当業者であれば、このような別の用途の場合、本明細書で用いる「レチクル」、「ウェーハ」、又は「ダイ」という用語のいかなる使用もより一般的な用語である「マスク」、「基板」及び「ターゲット部分」という用語にそれぞれ置き換えることができることを理解することができるだろう。

30

【0024】

[0024] 本明細書では、「放射」及び「ビーム」という用語は、紫外線(例えば、365、248、193、157又は126nmの波長を有する)及びEUV(極端紫外線、例えば、波長が5~20nmの範囲)を含むすべてのタイプの電磁放射を含むために使用される。

【0025】

[0025] 本稿で使用するマスクという用語は、基板のターゲット部分に作成されるパターンに対応するパターン付き断面を入射放射ビームに与えるために使用できる汎用パターンニング手段を指すものと広義に解釈することができる。これに関連して「ライトバルブ(light valve)」という用語も使用することができる。典型的なマスク(透過又は反射;バイナリ、位相シフト、ハイブリッドなど)に加えて、他のこのようなパターンニング手段の例としては以下のものを含む。

40

・プログラマブルミラーアレイ。このようなデバイスの一例は、粘弾性制御レイヤと反射面を有するマトリクスアドレスラブル表面である。このような装置の基本原理は、(例えば)反射面のアドレスエリアが回折光として入射光を反射し、非アドレスエリアが非回折光として入射光を反射することである。適切なフィルタを使用すると、反射ビームから前記非回折光をフィルタで除去し、回折光のみを残すことができ、このように、ビームはマトリクスアドレスラブル表面のアドレスラッシングパターンに応じてパターン付きになる。適切な電子手段を使用して、必要なマトリクスアドレスラッシングを実行することができる。

50

このようなミラーレイに関する詳細情報は、例えば、本明細書に参照により組み込むものとする米国特許第 5, 296, 891 号及び第 5, 523, 193 号から入手することができる。

・プログラマブル LCD アレイ。このような構造の一例は、本明細書に参照により組み込むものとする米国特許第 5, 229, 872 号に示されている。

【0026】

[0026] 以下の詳細な説明及び添付図面を参照することにより、本発明そのものとともに追加の目的及び利点をさらに理解することができる。

【図面の簡単な説明】

【0027】

【図 1】 [0027] 超解像技術を設計レイアウトに適用するための従来技術の方法のフローチャートである。

【図 2】 [0028] 本発明の一実施形態によりリソグラフィ誘導レイアウトプロセスを実行するための諸ステップの一例を示すフローチャートである。

【図 3】 [0029] コンタクトレイヤの設計レイアウトに関する S R A F ガイダンスマップ (S G M) の模範的な一実施形態である。

【図 4】 [0030] S R A F ガイダンスマップ (S G M) を生成するための第 1 の方法を示す模範的なフローチャートである。

【図 5】 [0031] S R A F ガイダンスマップ (S G M) を生成するための第 2 の方法ステップを示す模範的なフローチャートである。

【図 6 A】 [0032] 本発明により S G M を使用して S R A F 配置ルールを生成するためのテストフィーチャ及び座標系の一実施形態の図である。

【図 6 B】 [0033] 本発明により S G M を使用して S R A F 配置ルールを生成するためのテストコンタクトフィーチャ及び座標系の一実施形態の図である。

【図 6 C】 [0034] 本発明により S G M を使用して S R A F 配置ルールを生成するためのテストフィーチャ及び座標系の一実施形態の図である。

【図 7】 [0035] 本発明の一実施形態により S G M を使用する S R A F のルールなし配置に関する方法ステップのフローチャートである。

【図 8】 [0036] 本発明の一実施形態によりモデルベースの S R A F 生成を O P C 補正の適用と統合するための方法ステップのフローチャートである。

【図 9】 [0037] 従来技術の S R A F 配置ルール適用後のレイアウトにおけるフィーチャのクリティカルディメンションを示す図である。

【図 10】 [0038] 本発明の一実施形態により S G M を使用して作成された S R A F 配置ルール適用後のレイアウトにおけるフィーチャのクリティカルディメンションを示す図である。

【図 11】 [0039] 本発明の一実施形態によりモデルベースのサブレゾリューションフィーチャを生成するための方法のフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0028】

[0040] 図 2 は、本発明の L G L プロセスの模範的なプロセスを示す模範的なフローチャートである。このプロセスの第 1 のステップ (ステップ 210) では、ターゲット設計を使用し、ターゲットパターン内のそれぞれの対応する位置に応じて、そのターゲット設計に含まれるフィーチャのうちの一つ又は複数をマスクパターン内に配置する。それぞれの反復でマスクパターンに追加されるターゲットパターンからのフィーチャの数は、例えば、オペレータによって決定することができ、あるいは何らかの固定数として定義される場合もあれば、使用するプロセス並びにターゲット設計内で重要と見なされるフィーチャの数によって左右される場合もあることは注目に値する。もう一つの変形例では、反復あたり一つのみを追加することが可能である。

【0029】

[0041] ステップ 220 では、現行マスク上のフィーチャの隣接領域及び周囲の領域が現

10

20

30

40

50

行マスク上のフィーチャの結像に対して積極的又は消極的に寄与するかどうかの表示を含む現行マスクパターンの結像性能を示す空間像（又はそれと同等のもの）を生成するために、所与のリソグラフィプロセス（すなわち、ターゲットパターンを照射するために使用されるプロセス）に関する現行マスクパターンの照射のシミュレーションを実行する。上記の通り、上記の情報を提供する任意の適切なモデルを使用することができる。この所与の実施形態で使用されるモデルは、上記のSGMを生成するためのモデルである。図2を参照すると、ステップ220及び230では、例えば、シングルカーネル計算又はマルチカーネル計算のいずれかを使用して、現行マスクに対応する空間像をシミュレートし、その後、例えば、以下に詳述する方法でSGMを決定する。上記の通り、SGMは、追加のフィーチャが所与のピクセルの位置に位置決めされた場合に所与のピクセルが既存のマスクパターンのスルーフォーカス（through focus）及びスルードーズエッジ挙動（through dose edge behavior）に積極的に寄与するかどうかの表示をピクセルごとに提供する。換言すれば、SGM値が正である場合、そこに配置された仮説ユニットソースが既存のパターンの全体的なスルーフォーカス及びスルードーズエッジ挙動を改善することになり、SGM値が大きいほど、改善が大きくなる。SGM値が負である場合、そこに配置された仮説ユニットソースが既存のパターンの全体的なスルーフォーカス及びスルードーズエッジ挙動に否定的な影響を及ぼすか又は劣化させることになる。

10

【0030】

[0042] SGMが生成されると、そのSGMは「投票マップ（vote map）」又はレイアウトガイドスマップ（LGM）に対応し、現行マスクのフィールドエリア（すなわち、そこにまだフィーチャが配置されていない領域）内の各ピクセルに関するマスク上の現行フィーチャのすべてのエッジポイントの統合を表し、フィールドエリア内の各ピクセルがそこにフィーチャを配置させるのに適している（すなわち、そのピクセルが現行マスクフィーチャの結像に積極的に寄与する）かどうか、あるいは可能である場合にそれを回避すべきである（すなわち、そのピクセルが現行マスクフィーチャの結像に消極的に寄与する）かどうかの表示を提供する。

20

【0031】

[0043] このプロセスの次のステップ（ステップ240）では、LGM又は投票マップを使用して、マスク設計内に次に配置すべきフィーチャ又は一組のフィーチャの好ましい位置を決定する。可能な一例として（代替方法が以下に開示されている）、これは、例えば、次のフィーチャが元々指定されているLGMの領域内のピクセルの値を統合することによって実施することができ、この領域内のピクセルの合計の値が何らかの定義済みしきい値を上回る場合（そのフィーチャを適切に結像できることを示す）、指定された空間/位置のマスク設計にそのフィーチャが追加される。しかし、ピクセルの合計の値が定義済みしきい値以下である場合、LGMを使用して、そのフィーチャの調整された位置に対応する領域内のピクセルの合計が定義済みしきい値を上回るようにマスク設計内でそのフィーチャを再位置決めすることが可能であるかどうかを判断する。マスク設計内の1つ又は複数の方向にフィーチャの位置をシフトすることにより、ピクセルの合計の値を増加し、それにより、追加すべきフィーチャが既存のフィーチャに及ぼす影響を最適化することは可能である。

30

40

【0032】

[0044] 現在考慮中のフィーチャがマスク設計内に配置されると、プロセスはステップ250に移行し、ターゲットパターン又は設計内のすべてのフィーチャが処理されたかどうかを判断する。答えがYESである場合、プロセスはステップ260に移行し、レイアウトは完了する。答えがNOである場合、プロセスはステップ220に戻り、前の反復中に追加されたものを含む、マスク設計内に現在配置されているすべてのフィーチャを含む新しいSGMを再計算し、ターゲットパターン内のすべてのフィーチャが処理されるまで、ステップ220～250を再実行する。

【0033】

[0045] 図11は、本発明の一実施形態によりモデルベースのサブレゾリューションアシ

50

ストフィーチャを生成するための1つの方法を描写するフローチャートである。ステップ1110では、マスキレイアウトを入手する。マスキレイアウトは典型的にはプレOPC（設計）レイアウトである。ステップ1112では、マスキレイアウトに関するSRAFガイダンスマップ（SGM）を作成する。SGMは、ピクセルがSRAFの一部として含まれる場合にそのピクセルがマスキレイアウト内のフィーチャのスルーフォーカス及びスルードーズエッジ挙動に積極的に寄与するかどうかを各ピクセル値が示す像である。あるピクセルのSGM値が正である場合、そのピクセル位置におけるユニットソース（すなわち、シングルピクセルSRAF）が全体的なスルーフォーカス及びスルードーズエッジ挙動を改善することになり、SGM値が大きいほど、改善が大きくなる。SGMの作成については、図4及び図5に併せて以下にさらに説明する。ステップ1114では、SGMを使用してマスキレイアウトに関するSRAF配置ルールを作成する。SGMに基づくSRAF配置ルールの作成については、図6A、図6B、及び図6Cに併せて以下にさらに説明する。ステップ1116では、SRAF配置ルールを使用してポストOPCレイアウト内にSRAFを配置する。任意選択のステップ1118では、SGMを使用して、配置されたSRAFを微調整する。例えば、SGMは、配置されたSRAFがルールによって指図された幅よりわずかに広くなければならないことを示す場合もある。

10

【0034】

[0046] 図3はコンタクトレイヤのSGMの一例を示しており、正方形はコンタクト310を描写している。マスキルールチェック及びSRAF印刷適性問題を考慮しない場合、所与の模範的なSGMでは、領域312など、フィーチャ内ではないか又はフィーチャに直接隣接していない明るい領域内のピクセルは、正のSGM値を有し、従って、新しいパターンの配置に適したものになるであろう。暗い領域内のピクセルは、負のSGM値を有するピクセルであり、可能である場合に新しいパターンの配置に関して回避しなければならない。暗いフィールドとクリアなマスクの両方を含む任意のマスキレイヤのマスキレイアウトについてSGMを生成できることは注目に値する。

20

【0035】

[0047] 設計ターゲットエッジ位置における空間像のエッジ傾斜を使用して、スルーフォーカス及びスルードーズエッジ挙動を記述できることは注目に値する。エッジ傾斜がより大きくなると、ドーズの変化及びデフォーカスのいずれについても、フィーチャのプロセスウィンドウロバストネスが改善される。ドーズ変化は本質的にしきい値変化であり、デフォーカスは低域ぼけ効果によって十分近似することができる。エッジ傾斜が大きい場合、ドーズとデフォーカスの変動に対するロバストネスが改善され、それによって全体的なプロセスウィンドウが改善される。従って、プロセスウィンドウロバストネスを改善するという目標は、設計ターゲットエッジ位置におけるエッジ傾斜を増加するという目標に変換される。

30

【0036】

[0048] 図4は、SRAFガイダンスマップ（SGM）を生成するための第1の方法の模範的なフローチャートである。図4の方法は、露光ツールの光路が「ほぼ（near）」コヒーレントであると想定し、露光ツールに関するTCCの第1項のみを考慮する、シングルカーネル手法である。

40

【0037】

[0049] 部分的コヒーレント空間像強度は以下のように公式化することができる。

【数1】

$$I = L_0 * (M \otimes F_0)^2 + L_1 * (M \otimes F_1)^2 + \dots + L_n * (M \otimes F_n)^2$$

式中、Mはマスクイメージであり、nは透過クロス係数（TCC）の固有値の数であり、 $F_0 \sim F_n$ は各TCC項に対応する実空間フィルタであり、 $L_0 \sim L_n$ は各TCC項の対応する固有値であり、

【数2】

⊗

50

は畳み込みを意味し、

【数 3】

*

は正規乗算である。

【0038】

[0050] 図4のシングルカーネル手法では、最大絶対値を有する固有値に対応するカーネルからの空間像振幅に重きが置かれており、以下の通りである。

【数 4】

$$A = \sqrt{I} \approx M \otimes F$$

10

式中、 $F = F(x, y)$ はスカラ場である。この場の勾配ベクトルは

【数 5】

$$\vec{D}: \vec{D}(x, y) = (D_x, D_y)$$

として示され、式中、 (D_x, D_y) は以下の2つの成分を有するベクトル場である。

【数 6】

$$D_x = \frac{\partial F}{\partial x} \quad D_y = \frac{\partial F}{\partial y}$$

20

エッジの場合、そのエッジベクトル

【数 7】

\vec{E}

は以下のように定義される。すなわち、その方向はエッジに対して垂直であり、空間像A内で正のエッジ傾斜を有する方向を指す。次に、1つのエッジ位置から、そのエッジの環境は場(field)と見なされる。ユニットソースが場の位置 (x, y) にあると想定すると、任意の点 (x_1, y_1) に関する空間像振幅は $F(x_1 - x, y_1 - y)$ である。 (x', y') に位置するエッジポイントの傾斜に対するこのユニットソースの寄与率は以下のように比例する。

30

【数 8】

$$S(x, y, x', y') = \vec{D}(x' - x, y' - y) * \vec{E}(x', y')$$

式中、

【数 9】

*

は内部ベクトル乗算を示し、従って、その結果は $S(x, y, x', y')$ というスカラになる。したがって、それぞれのエッジポイントについて、その傾斜に対するすべての場の位置の寄与率を計算することができる。幾つかの場の位置におけるユニットソースは正の寄与率を示し、幾つかは負の寄与率を示す。この寄与率は、マスクレイアウト内のそのフィールドポイントをユニットソースによって配置すべきかどうかに関するこのエッジポイントによる「投票(vote)」と見なすことができる。

40

【0039】

[0051] 次に、それぞれのフィールドポイントについて、すべてのエッジポイントからの「投票」を統合して、このフィールドポイントに関する統合最終投票を生成する。この最終投票は、このフィールドポイントをユニットソースによって配置すべきかどうかに関するものである。このため、次のパターンをどこに配置すべきかを決定するために、この投票フィールドにしきい値を適用する。

【0040】

50

[0052] このようなフィルタリング操作を使用する場合に発生する問題は、それがエッジポイントごとに適用されることである。エッジポイントは非常に不規則になる可能性があるため、この操作は計算上極めて高価である可能性がある。この総当たり投票カウント方式のその他の不利点は、(1)エッジがサンプリングされ、従って、連続エッジからの影響が考慮されないことと、(2)コーナーのエッジ位置がプレOPCレイアウトの鋭いコーナーからのものであり、実際に所望の輪郭ターゲット位置ではないことである。あるコーナーの真のターゲット輪郭は実際に丸いコーナーであり、その丸い輪郭上の傾斜を強化しなければならない。

【0041】

[0053] この問題に対処するため、上記の投票カウント操作を伝統的なイメージ処理アルゴリズムに変換し、3つの高速フーリエ変換(FFT: Fast Fourier Transform)操作を使用して投票カウントを可能にする。FFT操作を使用して投票カウントプロセスを公式化することにより、米国特許第7,003,758号に開示されているフルチップリソグラフィシミュレーションシステムの使用などのハードウェア加速の有無にかかわらず、計算速度が大いに改善される。さらに、FFT計算を使用すると、上述の2つの不利点が自動的に克服される。すべてのエッジが連続的に考慮され、コーナーが丸められる(丸め量はピクセルサイズによって決まる)。

10

【0042】

[0054] ステップ418では、プレOPCマスキレイアウト $M(x, y)$ を入手する。プレOPCマスキレイアウトの勾配マップ

20

【数10】

$$\bar{G}(x, y) = (G_x, G_y)$$

は以下の式からなるベクトルマップである。

【数11】

$$G_x = \frac{\partial M(x, y)}{\partial x} \quad G_y = \frac{\partial M(x, y)}{\partial y}$$

次に、正確なエッジポイントは勾配を有するすべてのポイントである。特定のフィールドポイントに関する投票は、そのフィールドポイント上のユニットソースが勾配を強化するかどうかに基づいて、非ゼロの勾配を有するマスクイメージ内のすべてのポイントから得られる。フィールドポイント (x, y) におけるユニットソースの場合、 (x', y') における勾配値に対するその寄与率は以下の通りである。

30

【数12】

$$v(x, y, x', y') = \bar{D}(x'-x, y'-y) * \bar{G}(x', y') \\ = G_x(x', y')D_x(x'-x, y'-y) - G_y(x', y')D_y(x'-x, y'-y)$$

この場合も、

【数13】

*

は内部ベクトル乗算を表す。「v」値は、 (x, y) における勾配からフィールドポイント (x', y') への投票として処理することができ、従って、フィールドポイント (x, y) におけるユニットソースからの投票総計は以下の通りである。

40

【数14】

$$V(x, y) = \sum_{(x', y')} v(x, y, x', y') \\ = \sum_{(x', y')} [G_x(x', y')D_x(x'-x, y'-y) + G_y(x', y')D_y(x'-x, y'-y)]$$

G_x 及び G_y は $M(x, y)$ の2つの勾配成分イメージであり、 D_x 及び D_y は前の既知の

50

フィルタである。次に、SUM操作は正規のイメージグリッド上の標準的な畳み込みフィルタリングである。従って、Vは2つのフィルタリング操作によって計算することができる。D_x及びD_yは非分離可能大型フィルタであるので、実空間で実行した場合、この2つのフィルタリング操作は極めて高価である。従って、この2つのフィルタリング操作を扱いやすいものにするために、周波数領域で実行する。

周波数領域では、G_x及びG_yを明確に計算する必要はない。その代わりに、G_x及びG_yはM(x, y)から直接計算することができる。

【0043】

[0055] Z(x)が任意の関数であり、FFT(Z(x))がそのフーリエ変換であり、F(x) = dZ/dxがその導関数である場合、Z'(x)のフーリエ変換は以下の通りである。

【数15】

$$\text{FFT}(Z'(x)) = if \text{FFT}(Z(x))$$

式中、iは虚数単位であり、fは周波数である。その結果、以下の式が得られる。

【数16】

$$\text{FFT}(G_x) = if_x \text{FFT}(M), \text{FFT}(G_y) = if_y \text{FFT}(M)$$

$$\text{FFT}(D_x) = if_x \text{FFT}(F), \text{FFT}(D_y) = if_y \text{FFT}(F)$$

従って、フィールドポイント(x, y)における投票総計であるSGM値は以下の通りである。

【数17】

$$\begin{aligned} V(x, y) &= \sum_{(x', y')} [G_x(x', y') D_x(x' - x, y' - y) + G_y(x', y') D_y(x' - x, y' - y)] \\ &= G_x(x, y) \otimes D_x(-x, -y) - G_y(x, y) \otimes D_y(-x, -y) \\ &= -\text{IFFT}(\text{FFT}(G_x) * \text{IFFT}(D_x)) + \text{FFT}(G_y) * \text{IFFT}(D_y) \\ &= \text{IFFT}((f_x^2 + f_y^2) \text{FFT}(M) * \text{IFFT}(F)) \end{aligned}$$

式中、IFFT()は逆高速フーリエ変換であり、

【数18】

⊗
は畳み込みを意味し、

【数19】

*

は正規乗算である。光学モデルはどのマスクについても同じであるので、

【数20】

$$\mathcal{F}_3(f_x, f_y) = (f_x^2 + f_y^2) \text{IFFT}(F)$$

は事前計算でき、よってそれぞれのフィールドポイントにおけるSGM値のリアルタイム計算は、FFT(M)と1つのIFFTという2つのFFT計算を含むだけである。ステップ420では、プレOPCマスクレイアウトにFFTを適用して、FFT(M)を生成する。TCCは典型的に、計算速度及びストレージのために固有級数展開を使用して、畳み込みカーネルに分解される。従って、ステップ410では、TCCの分解されたバージョンをロードし、次に、ステップ412及び414では、FFT(F)をIFFT(F)に変換する。ステップ416では、

【数21】

$$\mathcal{F}_3(f_x, f_y) = (f_x^2 + f_y^2) \text{IFFT}(F)$$

を計算する。次に、ステップ420では、 $F_3(f_x, f_y)$ にFFT(M)を掛け、ステップ422では、その積からIFFTを取って、プレOPC設計レイアウト全体に関するSGMを生成する。

【0044】

[0056] 図5は、SRAFガイドスマップ(SGM)を生成するための第2の方法の模範的なフローチャートである。図5の実施形態は、露光ツールの光路がほぼコヒーレントであると想定されないマルチカーネル手法である。考察しやすくするため、空間寸法が1つだけ存在する場合と同様に以下の式を書き表す。

【0045】

[0057] マスク透過率 $M(x)$ は、以下のようにプレOPC成分(T)、SRAF成分(A)、及びOPC補正成分(C)に分離される。

【数22】

$$M(x) = M^T(x) + M^A(x) + M^C(x)$$

ここで、

【数23】

$$M^K(x) = M^T(x) + M^C(x)$$

という式がポストOPCレイアウト透過率を表す場合、空間像(AI)強度は以下のようになる。

【数24】

$$\begin{aligned} I(x) &= \int [M^K(x_1) + M^A(x_1)] [M^{K*}(x_2) + M^{A*}(x_2)] W(x-x_1, x-x_2) dx_1 dx_2 \\ &= \int [M^K(x_1)M^{K*}(x_2) + M^A(x_1)M^{K*}(x_2) + M^K(x_1)M^{A*}(x_2) + M^A(x_1)M^{A*}(x_2)] \\ &\quad W(x-x_1, x-x_2) dx_1 dx_2 \\ &= I^T(x) + \int [M^A(x_1)M^{K*}(x_2) + M^K(x_1)M^{A*}(x_2) + M^A(x_1)M^{A*}(x_2)] \\ &\quad W(x-x_1, x-x_2) dx_1 dx_2 \end{aligned}$$

式中、 $W(x, y)$ はTCCの空間領域表現であり、 $I^T(x)$ はSRAFなしのAI強度である。

【0046】

[0058] SGM式を導出するために、マスクレイアウトのSRAF部分内の x' におけるユニットソースを想定する。すなわち、 $M^A(x) = (x-x')$ とする。 x' におけるこのユニットソースは、以下の量だけ x における像傾斜に寄与する。

【数25】

$$\begin{aligned} &\frac{dI(x)}{dx} - \frac{dI^T(x)}{dx} \\ &= \frac{d}{dx} \int [M^A(x_1)M^{K*}(x_2) + M^K(x_1)M^{A*}(x_2) + M^A(x_1)M^{A*}(x_2)] W(x-x_1, x-x_2) dx_1 dx_2 \\ &= \frac{d}{dx} \int [\delta(x_1-x')M^{K*}(x_2) + M^K(x_1)\delta(x-x_2) + \delta(x-x_1)\delta(x-x_2)] \\ &\quad W(x-x_1, x-x_2) dx_1 dx_2 \\ &= \frac{d}{dx} \int [W(x-x', x-x_1)M^{K*}(x_1) + M^K(x_1)W(x-x_1, x-x')] dx_1 dx_2 + \frac{d}{dx} W(x-x', x-x') \end{aligned}$$

フィールドポイント x からソースポイント x' への投票の重み付けは以下のようにプレOPC像の勾配に等しい。

【数 2 6】

$$\frac{dM^R(x)}{dx} = \frac{1}{2} \frac{d}{dx} [M^T(x) + M^{T^*}(x)]$$

従って、 x' における SGM 値は以下の式に等しい。

【数 2 7】

$$\begin{aligned} V(x') &= \int \frac{dM^R(x)}{dx} \frac{d(I(x) - I^T(x))}{dx} dx \\ &= \int \frac{dM^R(x)}{dx} \frac{d}{dx} \left\{ \int [W(x-x', x-x_1)M^{K^*}(x_1) + M^K(x_1)W(x-x_1, x-x')] dx_1 \right\} dx \\ &\quad + \int \frac{dM^R(x)}{dx} \frac{d}{dx} W(x-x', x-x') dx \\ &= - \int M^R(x) \frac{d^2}{dx^2} \left\{ \int [W(x-x', x-x_1)M^{K^*}(x_1) + M^K(x_1)W(x-x_1, x-x')] dx_1 \right\} dx \\ &\quad - \int M^R(x) \frac{d^2}{dx^2} W(x-x', x-x') dx \end{aligned}$$

10

上記の最後のステップは部分積分を使用する。シングルカーネル SGM は本質的に強度の代わりに振幅の勾配に対する寄与率を調べるので、この式は、コヒーレント照明の限界内であっても上記のシングルカーネル SGM 式にならない。最後に、変数名の変更により、以下のようなになる。

20

【数 2 8】

$$\begin{aligned} V(x) &= - \int \left[M^R(x_1)M^K(x_2) \frac{d^2}{dx_1^2} W(x_1-x_2, x_1-x) \right. \\ &\quad \left. + M^R(x_1)M^{K^*}(x_2) \frac{d^2}{dx_1^2} W(x_1-x, x_1-x_2) \right] dx_1 dx_2 \\ &\quad - \int M^R(x_1) \frac{d^2}{dx_1^2} W(x_1-x, x_1-x) dx_1 \\ &= - \int \left[M^R(x-x_1)M^K(x-x_2) \frac{d^2}{dx_1^2} W(x_2-x_1, -x_1) \right. \\ &\quad \left. + M^R(x-x_1)M^{K^*}(x-x_2) \frac{d^2}{dx_1^2} W(-x_1, x_2-x_1) \right] dx_1 dx_2 \\ &\quad - \int M^R(x-x_1) \frac{d^2}{dx_1^2} W(-x_1, -x_1) dx_1 \end{aligned}$$

30

40

第 2 項において x_1 を x_2 で置き換える場合、SGM 双線形カーネルのエルミート性 (Hermiticity) が観察される。

【0047】

[0059] M^T が実数であり、OPC 補正成分 (M^C) が無視される場合、 $M^R = M^K = M^{K^*} = M^T = M^{T^*}$ になり、上記の公式はホプキンスの式に似ており、標準的なカーネル分解技法を使用して SGM を計算できることを意味する。

【0048】

[0060] M^K が実数であり、OPC 補正成分 (M^C) が無視されない場合、これは 2 通りの入力像 (プレ OPC マスクレイアウト $M^R = M^T$ と、SRAF なしのポスト OPC マスクレイアウト $M^K = M^{K^*} = M^T + M^C$) を伴う双線形積分になる。

50

【 0 0 4 9 】

[0061] SGM双線形カーネル (SGK) は周波数領域内のTCCに関連する可能性がある。M^Tが実数であり、OPC補正成分 (M^C) が無視される場合、以下のようなになる。

【 数 2 9 】

$$\begin{aligned}
 & SGK(k_1, k_2) \\
 &= -\mathcal{F} \left[\frac{d^2}{d\xi_1^2} W(\xi_2 - \xi_1, -\xi_1) + \frac{d^2}{d\xi_2^2} W(-\xi_2, \xi_2 - \xi_1) \right] \\
 &= -\int \left[\frac{d^2}{d\xi_1^2} W(\xi_2 - \xi_1, -\xi_1) + \frac{d^2}{d\xi_2^2} W(-\xi_2, \xi_2 - \xi_1) \right] \exp(-ik_1\xi_1 + ik_2\xi_2) d\xi_1 d\xi_2 \\
 &= k_1^2 \int W(\xi_2 - \xi_1, -\xi_1) \exp(-ik_1\xi_1 + ik_2\xi_2) d\xi_1 d\xi_2 \\
 &\quad + k_2^2 \int W(-\xi_2, \xi_2 - \xi_1) \exp(-ik_1\xi_1 + ik_2\xi_2) d\xi_1 d\xi_2 \\
 &= k_1^2 \int W(\xi'_1, \xi'_2) \exp(ik_1\xi'_2 + ik_2(\xi'_1 - \xi'_2)) d\xi'_1 d\xi'_2 \\
 &\quad + k_2^2 \int W(\xi'_1, \xi'_2) \exp(-ik_1(\xi'_2 - \xi'_1) - ik_2\xi'_1) d\xi'_1 d\xi'_2 \\
 &= k_1^2 TCC(-k_2, k_1 - k_2) + k_2^2 TCC(-k_1 + k_2, -k_1)
 \end{aligned} \tag{10}$$

上記のエルミート性は容易に確認される。

20

【 0 0 5 0 】

[0062] 実用上の難しさは、この公式を直接使用した場合に2つの生TCCが同時に表れることであり、これはTCCが大きい場合に実現可能ではない可能性がある (例えば、TCCの各寸法が浮動データタイプの107である場合、総所要メモリ量は2Gバイトを超える)。従って、「所定の位置で (in-place)」計算を行うことが望ましい。このようにするために、SGM双線形カーネルを以下のように分解することができる。

【 数 3 0 】

$$\begin{aligned}
 & TCC_1(k_1, k_2) = TCC(-k_2, k_1) \\
 & TCC_2(k_1, k_2) = k_1^2 TCC_1(k_1 - k_2, k_2) = k_1^2 TCC(-k_2, k_1 - k_2) \\
 & SGK(k_1, k_2) = TCC_2(k_1, k_2) + TCC_2^*(k_2, k_1)
 \end{aligned} \tag{30}$$

式中、各ステップは所定の位置にある。

【 0 0 5 1 】

[0063] もう1つの実用上の考慮事項は、計算速度及びストレージのために固有級数展開を使用して、TCCが典型的に畳み込みカーネルに分解されることである。従って、ステップ510では、TCCの分解されたバージョンをロードし、次にステップ512では、TCCの分解されたバージョンを生フォーマットに再構成する。ステップ514～518では、SGM双線形カーネル (SGK (k₁, k₂)) を所定の位置で計算し、次にステップ520では、SGM双線形カーネルを固有値と固有ベクトルに分解する。ステップ522では、マスクレイアウト、分解されたSGM双線形カーネル、及び既存の高速双線形操作を使用して、部分的SGMを計算する。図5の方法では、M^R = M^K = M^{K*} = M^T = M^{T*}であると想定されている。

40

【 0 0 5 2 】

[0064] ステップ524及び526では、SGM線形カーネルを計算する。SGM線形項カーネルのスペクトルは以下のように表される。

【数 3 1】

$$\begin{aligned}
 SGK_{\text{Linear}}(k) &= -\mathcal{F}\left[\frac{d^2}{d\xi^2}W(-\xi,-\xi)\right] \\
 &= -\int\left[\frac{d^2}{d\xi^2}W(-\xi,-\xi)\right]\exp(-ik\xi)d\xi \\
 &= k^2\int W(-\xi,-\xi)\exp(-ik\xi)d\xi \\
 &= k^2\mathcal{W}(-k)
 \end{aligned}$$

10

式中、 $W(k)$ は $W(\xi, \eta)$ のフーリエ変換である。また、 $W(k_1, k_2)$ も $TCC(k_1, k_2)$ の逆フーリエ変換である。従って、以下ようになる。

【数 3 2】

$$\mathcal{W}(k) = \frac{1}{2\pi} \int TCC(k_1, k - k_1) dk_1$$

20

この式は連続関数分析用である。しかし、実際に DFT (離散フーリエ変換) を使用する場合、定数 2 を DFT の列長で置き換えなければならない。ステップ 5 2 8 では、SGM 線形カーネルによりマスキレイアウトを畳み込むことにより、もう 1 つの部分的 SGM を計算する。ステップ 5 3 0 では、部分的 SGM を結合して SGM を生成する。図 4 のステップ 4 1 0 ~ 4 1 6 及び図 5 のステップ 5 1 0 ~ 5 2 0 は、ランタイム速度を改善するためにそれぞれの光学モデルについて事前実行できることに留意されたい。

【0053】

[0065] 新しいフィーチャがプロセスウィンドウを最適化するためには、エッジ傾斜が最も小さいときにその配置を最適化しなければならない。一般に、エッジ傾斜はデフォーカスの場合に小さくなり、従って、デフォーカス及び / 又はデルタドーズの TCC を使用して SGM を計算しなければならない。その結果、このような最小 PW ポイントでエッジ傾斜が最大限になる。

【0054】

[0066] 異なるエッジポイントは異なる重要性を有する可能性がある。SGM 計算では異なるターゲットエッジ位置に異なる重みを割り当てることができる。例えば、ポリゲートエッジポイントによる投票に対してより大きい重みを割り当て、大きいパターン及びラインエンドからの投票に対してより小さい重みを割り当てることができる。この重み付け手法により、プロセスウィンドウ挙動に関する重要性が異なるパターンについて微分処理が可能になる。エッジポイントに重みを割り当てる際の追加の考慮事項は、ホットスポット (すなわち、プロセスウィンドウ変動に対するレイアウト内の弱点) であるために小さいエッジ傾斜を有するエッジ位置に対してより大きい重みを与えられるようなエッジの既存傾斜である。このため、SRAF なしの OPC 補正をマスキレイアウトに適用し、空間像を計算し、次に各エッジ位置における空間像のエッジ傾斜を計算することができる。エッジ位置に関する ILS (イメージログスロープ) の逆数をそのエッジ位置の重みとして使用することができる。この 2 つの重み付け手法、すなわち、フィーチャの重要性ベースの重みと ILS ベースの重みを結合して、結合重みを与えることもできる。その他の考えられる重み付け方式は本発明の範囲内である。

30

40

【0055】

[0067] SGM 計算において重み付けを適用するために、例えば、ゲート対非ゲート、ライン対コーナー、線幅などに基づいて、各エッジ評価点の相対的な重要性を識別する。次に、各エッジ評価点に非負重みを割り当てる。例えば、1 という重みは公称であり、1 を上回る任意の値は追加の重みであり (従って、重み 2 . 0 は、そのエッジポイントの投票が公称重み付きポイントの 2 倍重要であることを意味する)、1 以下の任意の値はそれより低い重みであり (すなわち、重み 0 は、そのエッジポイントの投票をまったくカウント

50

してはいけないことを意味し、重み 0.5 は、そのエッジポイントの投票が公称重み付きポイントの 50% としてカウントされることを意味する)、重みが 0.0 未満になることはない。次に、それぞれの重みがエッジポイント位置 (x, y) におけるデルタ関数であると想定して、重み像 $W_m(x, y)$ はプレ O P C レイアウト $M(x, y)$ の同じピクセルグリッドに描画され、プレ O P C レイアウトのサンプリング周波数の通過帯域と一致するように低域フィルタが重み像に適用される。最終重みマップ像にはプレ O P C レイアウト $M(x, y)$ の勾配が掛けられ、その結果は S G M を計算する際に重み付きターゲット像として使用される。

【 0 0 5 6 】

[0068] シングルカーネル S G M の場合、投票マップは以下のように変更される。

10

【 数 3 3 】

$$\begin{aligned} V(x, y) &= \sum_{(x', y')} [W_m(x', y') G_x(x', y') D_x(x'-x, y'-y) + W_m(x', y') G_y(x', y') D_y(x'-x, y'-y)] \\ &= [W_m(x, y) G_x(x, y)] \otimes D_x(-x, -y) - [W_m(x, y) G_y(x, y)] \otimes D_y(-x, -y) \\ &= -\text{IFFT}(\text{FFT}(W_m G_x) * \text{IFFT}(D_x) + \text{FFT}(W_m G_y) * \text{IFFT}(D_y)) \\ &= -i \text{IFFT}((f_x \text{FFT}(W_m G_x) + f_y \text{FFT}(W_m G_y)) * \text{IFFT}(F)) \end{aligned}$$

マルチカーネル S G M の場合、投票マップは以下のように変更される。

【 数 3 4 】

20

$V(x')$

$$\begin{aligned} &= \int W_m(x) \frac{dM^R(x)}{dx} \frac{d(I(x) - I^T(x))}{dx} dx \\ &= \int W_m(x) \frac{dM^R(x)}{dx} \frac{d}{dx} \left\{ \int [W(x-x', x-x_1) M^{K*}(x_1) + M^K(x_1) W(x-x_1, x-x')] dx_1 \right\} dx \\ &+ \int W_m(x) \frac{dM^R(x)}{dx} \frac{d}{dx} W(x-x', x-x') dx \\ &= - \int W_m(x) M^R(x) \frac{d^2}{dx^2} \left\{ \int [W(x-x', x-x_1) M^{K*}(x_1) + M^K(x_1) W(x-x_1, x-x')] dx_1 \right\} dx \\ &- \int W_m(x) M^R(x) \frac{d^2}{dx^2} W(x-x', x-x') dx \\ &- \int W_m'(x) M^R(x) \frac{d}{dx} \left\{ \int [W(x-x', x-x_1) M^{K*}(x_1) + M^K(x_1) W(x-x_1, x-x')] dx_1 \right\} dx \\ &- \int W_m'(x) M^R(x) \frac{d}{dx} W(x-x', x-x') dx \end{aligned}$$

30

この場合も、変数の変更により、以下のようなになる。

【数 3 5】

$$\begin{aligned}
V(x) = & - \int \left[Wm(x_1)M^R(x_1)M^K(x_2) \frac{d^2}{dx_1^2} W(x_1 - x_2, x_1 - x) \right. \\
& \left. + Wm(x_1)M^R(x_1)M^{K^*}(x_2) \frac{d^2}{dx_1^2} W(x_1 - x, x_1 - x_2) \right] dx_1 dx_2 \\
& - \int Wm'(x_1)M^R(x_1) \frac{d^2}{dx_1^2} W(x_1 - x, x_1 - x) dx_1 \\
& - \int \left[Wm'(x_1)M^R(x_1)M^K(x_2) \frac{d}{dx_1} W(x_1 - x_2, x_1 - x) \right. \\
& \left. + Wm'(x_1)M^R(x_1)M^{K^*}(x_2) \frac{d}{dx_1} W(x_1 - x, x_1 - x_2) \right] dx_1 dx_2 \\
& - \int Wm'(x_1)M^R(x_1) \frac{d}{dx_1} W(x_1 - x, x_1 - x) dx_1 \\
= & - \int \left[Wm(x-x_1)M^R(x-x_1)M^K(x-x_2) \frac{d^2}{dx_1^2} W(x_2 - x_1, -x_1) \right. \\
& \left. + Wm(x-x_1)M^R(x-x_1)M^{K^*}(x-x_2) \frac{d^2}{dx_1^2} W(-x_1, x_2 - x_1) \right] dx_1 dx_2 \\
& - \int Wm(x-x_1)M^R(x-x_1) \frac{d^2}{dx_1^2} W(-x_1, -x_1) dx_1 \\
& + \int \left[Wm'(x-x_1)M^R(x-x_1)M^K(x-x_2) \frac{d}{dx_1} W(x_2 - x_1, -x_1) \right. \\
& \left. + Wm'(x-x_1)M^R(x-x_1)M^{K^*}(x-x_2) \frac{d}{dx_1} W(-x_1, x_2 - x_1) \right] dx_1 dx_2 \\
& + \int Wm'(x-x_1)M^R(x-x_1) \frac{d}{dx_1} W(-x_1, -x_1) dx_1
\end{aligned}$$

10

20

30

最初の3つの積分は同じカーネルを有する重みなしSGMに似ている。唯一の違いは、マスクイメージ M^R が WmM^R で置き換えられることである。 M^T が実数であり、OPC補正成分(M^C)が無視される場合、4番目と5番目の積分用のカーネルは以下のようになる。

【数 3 6】

$$\begin{aligned}
&SGK^W(k_1, k_2) \\
&= \mathcal{F} \left[\frac{d}{d\xi_1} W(\xi_2 - \xi_1, -\xi_1) + \frac{d^2}{d\xi_2} W(-\xi_2, \xi_1 - \xi_2) \right] \\
&= \int \left[\frac{d}{d\xi_1} W(\xi_2 - \xi_1, -\xi_1) + \frac{d}{d\xi_2} W(-\xi_2, \xi_1 - \xi_2) \right] \exp(-ik_1\xi_1 + ik_2\xi_2) d\xi_1 d\xi_2 \\
&= ik_1 \int W(\xi_2 - \xi_1, -\xi_1) \exp(-ik_1\xi_1 + ik_2\xi_2) d\xi_1 d\xi_2 \\
&\quad - ik_2 \int W(-\xi_2, \xi_1 - \xi_2) \exp(-ik_1\xi_1 + ik_2\xi_2) d\xi_1 d\xi_2 \\
&= ik_1 \int W(\xi'_1, \xi'_2) \exp(ik_1\xi'_2 + ik_2(\xi'_1 - \xi'_2)) d\xi'_1 d\xi'_2 \\
&\quad - ik_2 \int W(\xi'_1, \xi'_2) \exp(-ik_1(\xi'_2 - \xi'_1) - ik_2\xi'_1) d\xi'_1 d\xi'_2 \\
&= ik_1 TCC(-k_2, k_1 - k_2) - ik_2 TCC(-k_1 + k_2, -k_1)
\end{aligned}$$

10

最後の積分用のカーネルは以下ようになる。

【数 3 7】

$$\begin{aligned}
SGK_{\text{Linear}}^W(k) &= \mathcal{F} \left[\frac{d^2}{d\xi^2} W(-\xi, -\xi) \right] \\
&= \int \left[\frac{d^2}{d\xi^2} W(-\xi, -\xi) \right] \exp(-ik\xi) d\xi \\
&= -ik \int W(-\xi, -\xi) \exp(-ik\xi) d\xi \\
&= -ikW(-k)
\end{aligned}$$

20

式中、 $W(k)$ は前に定義されている。

【0057】

[0069] 上述の通り、SGM（本明細書ではLGMとも呼ばれる）は、レイアウト上の既存パターンのPW挙動を強化するために後続パターンの誘導用の基礎として使用することができる。

30

【0058】

[0070] 特に、チップ設計を順次方式で誘導することは可能である。それぞれの順次ステップでは、経路指定ソフトウェアによって選択されたように、新しいパターンのグループをレイアウトに追加する。次に、レイアウト内のすべての既存のパターンについてLGMを計算し、新しいLGMを使用して、レイアウトへの後続フィーチャの追加を誘導する。一実施形態では、しきい値TがLGMに適用され、そのしきい値以下のLGM値を有するすべてのピクセルは、次の線又はパターンに関する禁制位置又は望ましくない位置としてマークが付けられる。これらの禁制位置又は望ましくない位置とデザインルールチェック(DRC)が相俟って、次の線又はパターンについて使用可能領域及び使用不能領域を指図する。使用可能領域の場合、LGM内の明るい領域（すなわち、大きいLGM値のクラスターピクセルを有する領域）は次の線又はフィーチャを収容するのに適した領域に対応する。また、次の線又は図形、線の長さなどによってカバーされた全LGMを含むオブジェクト関数を定義し、次にそのオブジェクト関数を最大化（又は、オブジェクト関数の実際の定義に応じて最小化）して、マスクレイアウト内に次に配置すべき線又はフィーチャに関する最適位置を解くことも可能である。

40

【0059】

[0071] 例えば、線幅w及び経路

【数 3 8】

$\mathcal{L}(A,B)$

についてポイント A と B との間の線配置を最適化することが望ましい場合、模範的な費用関数は以下のように書き表すことができる。

【数 3 9】

$$f(w, \mathcal{L}(A,B)) = \alpha L(\mathcal{L}(A,B)) + \beta \text{SUM_LGM}(w, \mathcal{L}(A,B))$$

式中、

【数 4 0】

$L(\mathcal{L}(A,B))$

は

【数 4 1】

$\mathcal{L}(A,B)$

の経路長を表し、

【数 4 2】

$\text{SUM_LGM}(w, \mathcal{L}(A,B))$

は幅 w を有するこの線

【数 4 3】

$\mathcal{L}(A,B)$

によってカバーされる全 L G M 値を表し、 α 及び β は線長と L G M 最適化とのトレードオフのためのユーザ指定のラグランジュの乗数（重み）であり、これらには異なる符号が付いていなければならない。 $\alpha < 0$ 及び $\beta > 0$ であると想定される。その結果、この線配置問題が以下のように最適化問題になる。

【数 4 4】

$\max f(w, \mathcal{L}(A,B))$

これは、この経路内のいずれのポイントもしきい値 T 以下の L G M 値を持たず、いずれの D R C ルールにも違反しないという制約が条件になる。また、これらの制約をオブジェクト関数に追加することができ、既存のパターンの P W 性能に多大な悪影響を及ぼすか又は D R C ルールに違反するポイントには非常に大きい負の重みが付けられる。

【0 0 6 0】

[0072] 代替的に、L G M はラインレイアウト内の経路長に対する（逆の）重みとして使用することもでき、その場合、問題は最適（重み付き）経路探索問題に変換することができる。経路探索アルゴリズムの例としては、横型探索（breadth-first search）、ダイクストラ（Dijkstra）アルゴリズム、ビタビ（Viterbi）アルゴリズム、及びフロイド・ワ

【0 0 6 1】

[0073] 次に、上記の通り、L G M を含むこのプロセスは、すべての線又はフィーチャがレイアウトに追加されるまで、新しいパターンで連続的に更新される。

【0 0 6 2】

[0074] この順次配置の各ステップは、後続パターン配置に関するガイダンスとして L G M を使用することにより、すでに配置されたパターン／フィーチャの全体的なコントラストを強くする。従って、結果のレイアウトでは、パターンは相互に建設的であり、余分なコストをほとんど使わずに全体的な P W 性能を大いに改善することができ、これが D F M 方法の究極の目標である。また、この方法は、計算コストの低さと 2 次元形状を考慮する

10

20

30

40

50

ことという利点も有する。

【 0 0 6 3 】

[0075] L G Mは、レイアウト中に同時に考慮する必要がある複数のレイヤ、例えば、ポリ及び拡散又は金属及びコンタクトに容易に使用することができる。異なるレイヤについて異なる時間にリソグラフィパターンングが行われるので、それぞれの個別回路レイヤごとに、そのレイヤ自体について個別にL G Mが計算される。異なるレイヤ間の回路レベルの関連付け及び従属関係はレイアウトソフトウェアによって維持されるはずである。

【 0 0 6 4 】

[0076] さらに、L G Mは、自動配置経路指定ソフトウェア又は例えば標準セルの手動レイアウトを実行する人間のユーザに対してガイダンスを提供するために使用することができる。次のパターンを配置すべき場所に関する提案を行うことに加えて、この方法は、リソグラフィ用の設計のロバストネスのレベルを示すL G Mに基づくスコアも提供することができる。

【 0 0 6 5 】

[0077] 加えて、本明細書に開示されているL G L方法は、設計のロバストネスの妥当性を検査するために、O P C及びO P C検証ソフトウェアと組み合わせて使用することができる。

【 0 0 6 6 】

[0078] さらに、L G Lの適用は、I C回路レイアウトの配置又は経路指定段階のいずれか一方あるいはその両方で使用することができる。具体的には、L G L方法は、リソグラフィ性能を強化するように定義済み標準セルの配置に対してガイダンスを提供するために適用することができる。この適用例では、定義済み標準セル全体が単一の固定図形として扱われ、L G Mは、標準セルによってカバーされるすべてのL G Mピクセル値を合計することによってその配置のスコアを点ける。L G Mは、標準セルによってカバーされる最低L G M値を見つけることにより、配置内に特定の弱点があるかどうかを評価することもできる。

【 0 0 6 7 】

[0079] 空間的に複数回繰り返される可能性のある標準セルの設計の場合、セル自体のレイアウトを誘導するためだけでなく、リソグラフィの点でセルに関する好適ピッチ (favored pitch) を計算するためにもL G Mを使用することができる。より小さい好適ピッチを有する設計は、より小さい回路エリアを提供することができ、これは、そのセルを何回も繰り返す場合に重要なものになり得る。

【 0 0 6 8 】

[0080] 一実施形態では、S G Mを使用して一組のS R A F配置ルールを作成することができる。一組のS R A F配置ルールの一例は以下の表1に示されている。列1はパターンのタイプを識別するものであり、タイプ1はゲートのようなS R A F好適パターンであり、タイプ2は金属線のようなS R A F非好適パターンである。列2はレイアウト内のメインフィーチャ間の空間を識別するものである。表1には3種類のS R A F配置ルールが示されている。第1の種類のルール(列3~6)は同じタイプのパターン間にS R A F(すなわち、散乱バー又はS B)を配置するためのものである。第2の種類のルール(列7~10)はS R A F好適パターンとS R A F非好適パターンとの間にS R A Fを配置するためのものである。第3の種類のルール(列11~14)はS R A F好適パターン又はS R A F冷遇パターンと非S R A Fパターン(例えば、非常に大きいパターン)との間にS R A Fを配置するためのものである。コンタクトレイヤの場合、3種類のルールはすべて同じである可能性がある。表1の各行は、配置すべきS R A Fの数、各S R A Fの幅、S R A Fとメインフィーチャとの間の空間、メインフィーチャ間の空間に応じたS R A F間の空間を指定する。ポリ(金属)レイヤの場合、S G M及び一連の1次元テストフィーチャを使用してS R A F配置ルールが作成される。

【表 1】

タイプ	空間	#	SB 幅	SP1	SP2	Cp #	cpSB 幅	cpSP1	cpSP2	Cp2 #	Cp2AF 幅	Cp2SP1	Cp2SP2
1	330	1	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	500	2	40	145	0	0	0	0	0	2	40	145	120
1	650	3	40	145	0	0	0	0	0	2	40	145	120
1	820	4	40	145	120	0	0	0	0	0	0	0	0
2	330	1	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	500	2	40	145	0	0	0	0	0	2	40	145	120
2	650	3	40	145	0	0	0	0	0	2	40	145	120
2	820	4	40	145	120	0	0	0	0	0	0	0	0

10

【0069】

[0081] 図6Aは、本発明によりSGMを使用してポリ(金属)レイヤに関するSRAF配置ルールを生成するためのテストフィーチャ及び座標系の一実施形態の図である。メインフィーチャ間の指定の空間の場合、反復ラインテストフィーチャから構成されるテストパターンが作成され、ラインテストフィーチャとSRAFはいずれも、それぞれの幅と比較して無限の長さを有するものと想定される。図6Aは、同じタイプの2つのラインテストフィーチャ610a及び610bを示しており、例えば、どちらのフィーチャもゲートである。従って、以下の考察では、第1の種類SRAF配置ルールの生成について説明する。ラインテストフィーチャの幅はレイアウトの最も重要な線幅に等しく、任意の2つの隣接するラインテストフィーチャ間の空間はメインフィーチャ間の指定の空間値である。その後、このテストパターンについてSGMが生成される。

20

【0070】

[0082] 図6Aに示されているように、テストパターンの上に座標系が置かれ、y軸は任意のラインテストフィーチャの境界と一致し、x軸はラインテストフィーチャに対して垂直である。図6Aでは、 $x = 0$ (612) 及び $x = \text{space}$ (614) は、隣接するラインテストフィーチャ610a及び610bの境界に対応する。1次元ルールの場合、任意の2つの隣接するラインパターン $S(x)$ 間のSGM値は $SGM(x, 0)$ に等しく、 $x = [0, 1, \dots, \text{space}]$ である。次に、これらのラインテストフィーチャに関するSRAF配置ルール生成問題は、間隔 $[0, \text{space}]$ を n 個のより小さい間隔 $[x_{1s}, x_{1e}]$, $[x_{2s}, x_{2e}]$, \dots , $[x_{ns}, x_{ne}]$ に区分するという問題に変換され、 $0 < x_{1s} < x_{1e} < x_{2e} < x_{ns} < x_{ne} < \text{space}$ である。それぞれの間隔は、 i 番目のSRAF (1 i n) を $x_{is} \leq x \leq x_{ie}$ として記述できるようなSRAFを表す。

30

【0071】

[0083] 最適SRAF配置ルールを決定することは、MRCルール及びSRAF印刷適性制約を条件として、SRAFによってカバーされた全SGM値を最大化することと同等である。 S_i は i 番目のSRAF (1 i n) によってカバーされたSGM値とすると、SRAFによってカバーされた全SGM値は以下の通りである。

【数45】

$$\sum_{i=1}^n S_i = \sum_{i=1}^n \sum_{x=x_{is}}^{x_{ie}} S(x)$$

40

レイアウト内のSRAFの配置について以下のように5つの制約がある。

1. 最小SRAF幅 (W_{min})、すなわち、任意の $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ の場合に $x_{ie} - x_{is} \geq W_{min}$
2. 最大SRAF幅 (W_{max})、すなわち、任意の $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ の場合に $x_{ie} - x_{is} \leq W_{max}$
3. SRAFとメインフィーチャとの間の最小間隔 (S_{main})、すなわち、 $x_{1s} \geq S_{main}$ 及び $x_{ne} \leq \text{space} - S_{main}$
4. 任意の2つの隣接するSRAF間の最小間隔 (S_{SRAF})、すなわち、任意の $i \in \{2$

50

, . . . , n } の場合に $x_{is} - x_{(i-1)e} \geq S_{SRAAF}$
 5. 任意の $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ の場合に $S_i = 0$ (その値が可能な範囲で最大であつても、負のSGM値を有するSRAAFを配置する必要はない。)

制約 (W_{min} , W_{max} , S_{main} , S_{SRAAF}) が付いた $[0, space]$ に関するグローバル最適解 (区分) が $Rule_{opt} = \{ [x_{1s}, x_{1e}], [x_{2s}, x_{2e}], \dots [x_{ns}, x_{ne}] \}$ であると想定すると、 i 番目の SRAAF ($1 \leq i \leq n$) が $[x_{is}, x_{ie}]$ をカバーする。その上、任意の $i \in \{2, \dots, n\}$ の場合、 $\{ [x_{1s}, x_{1e}], [x_{2s}, x_{2e}], \dots [x_{(i-1)s}, x_{(i-1)e}] \}$ も同じ制約が付いた $[0, x_{is} - S_{SRAAF}]$ に関する最適区分になる (そうではなく、 $[0, x_{is} - S_{SRAAF}]$ に関するより良い区分が存在する場合、それは $Rule_{opt}$ における $i, i+1, \dots, n$ 番目の SRAAF 配置と結合し、 $Rule_{opt}$ より優れたルールに至ることができ、依然として制約を満足し、これは $Rule_{opt}$ の最適性と矛盾する)。

10

【0072】

[0084] 従つて、間隔 $[0, space]$ はより小さい間隔に分割され、ダイナミックプログラミングに基づいてアルゴリズムが構築される。 $space \geq 2S_{main} + W_{min}$ と想定すると、このアルゴリズムの要約は以下の通りである。

入力:

$space, x = [0, 1, \dots, space]$ の場合の $S(x)$ 、及び制約 (W_{min} , W_{max} , S_{main} , S_{SRAAF})

中間結果:

20

$NumSRAFArray[x]$ ($x = [0, 1, \dots, space - S_{main}]$): $space - S_{main} + 1$ というサイズを有するアレイであつて、 $NumSRAFArray[x]$ は $[0, x]$ に関する最適区分の SRAAF の数を格納する

$SRAFSGMArray[x]$ ($x = [0, 1, \dots, space - S_{main}]$): $space - S_{main} + 1$ というサイズを有するアレイであつて、 $SRAFSGMArray[x]$ は $[0, x]$ に関する最適区分の SRAAF によってカバーされる全SGMを格納する

$SRAFLeftEndArray[x]$ ($x = [0, 1, \dots, space - S_{main}]$): $space - S_{main} + 1$ というサイズを有するアレイであつて、 $SRAFLeftEndArray[x]$ は $[0, x]$ に関する最適区分の最も右側の SRAAF の左端の座標を格納する ($x_{ie} = x$ になるような最大 x_{is} に対応する)

30

$SRAFRightEndArray[x]$ ($x = [0, 1, \dots, space - S_{main}]$): $space - S_{main} + 1$ というサイズを有するアレイであつて、 $SRAFLeftEndArray[x]$ は $[0, x]$ に関する最適区分の最も右側の SRAAF の右端の座標を格納する ($x_{ie} = x$ になるような最大 x_{ie} に対応する)

初期設定:

すべての $x = [0, 1, \dots, space - S_{main}]$ について、 $NumSRAFArray[x]$ 及び $SRAFSGMArray[x]$ をゼロに設定する

SRAAF計算:

【数 4 6】

For $I = S_{min} + W_{min}$ to $space - S_{main}$ STEP = 1 // 制約 3 の場合

tempSGMValue \leftarrow SRAFSGMArray[$i-1$]

tempNumSRAF \leftarrow NumSRAFArray[$i-1$]

tempSRAFLeftEnd \leftarrow SRAFLeftEndArray[$i-1$]

tempSRAFRightEnd \leftarrow SRAFRightEndArray[$i-1$]

tempNewSRAFSGM $\leftarrow \sum_{k=i-W_{min}}^i S(k)$ // 候補SRAFのSGM値

10

for $j = i - W_{min}$ to $\max\{i - W_{max}, S_{main}\}$: STEP = -1

//j: 候補SRAFの左端

//各SRAFの幅は $[W_{min}, W_{max}]$ におさまることが保証される

if(tempNewSRAFSGM \geq 0) // 制約5の場合

h $\leftarrow j - S_{SRAF}$

if ($h \geq S_{main} + W_{min}$)

PreviousSGMValue \leftarrow SRAFSGMArray[h]

20

PreviousNumSRAF \leftarrow NumSRAFArray[h]

// $[0, j - S_{SRAF}]$ に関する最適区分

else

PreviousSGMValue \leftarrow 0

PreviousNumSRAF \leftarrow 0

End

if(tempNewSRAFSGM + PreviousSGMValue $>$ tempSGMValue)

30

tempSGMValue \leftarrow tempNewSRAFSGM + PreviousSGMValue

tempNumSRAF \leftarrow PreviousNumSRAF + 1

tempSRAFLeftEnd $\leftarrow j$

tempSRAFRightEnd $\leftarrow i$

End

End

tempNewSRAFSGM \leftarrow tempNewSRAFSGM + $S(j-1)$

40

End

SRAFSGMArray[i] \leftarrow tempSGMValue

NumSRAFArray[i] \leftarrow tempNumSRAF

SRAFLeftEndArray[i] \leftarrow tempSRAFLeftEnd

SRAFRightEndArray[i] \leftarrow tempSRAFRightEnd // 全ての中間結果を更新する

End

出力 :

50

【数 4 7】

NumSRAFArray[space-S_{SRAF}], SRAFLetEndArray[x] (x=[0, 1, ..., space-S_{SRAF}])

及び

【数 4 8】

SRAFRightEndArray[x] (x=[0, 1, ..., space-S_{SRAF}])

【0073】

[0085] 図 6 B は、本発明により SGM を使用して SRAF 配置ルールを生成するための
 コンタクトテストフィーチャ及び座標系の一実施形態の図である。コンタクトテストフィー
 ーチャ 620 a 及び 620 b は反復正方形フィーチャである。それぞれのコンタクトテ
 ストフィーチャ 620 a、620 b の意義は同じであるので、以下の考察では、第 1 の種類
 の SRAF 配置ルールの生成について説明する。任意の 2 つの隣接するコンタクト間の空
 間はメインフィーチャ間の指定の空間である。このテストパターンについて SGM が生成
 される。コンタクトテストフィーチャの上に座標系が置かれ、y 軸は任意のコンタクト
 テストフィーチャの境界と一致し、原点はコンタクトテストフィーチャのそのエッジの中央
 に位置する。図 6 B では、x = 0 (622) 及び x = space (624) は、隣接する
 コンタクトテストフィーチャ 620 a 及び 620 b の境界に対応する。

10

【0074】

[0086] コンタクトレイヤの場合、メインフィーチャの長さは典型的に幅と同じであり、
 従って、そのフィーチャの有限長によって引き起こされる 2 次元の影響が考慮される。コ
 ンタクトレイヤ内に配置された SRAF の場合、SRAF 長はパラメータ「sbEndE
 xtension」626 によって指定される。コンタクトテストフィーチャ 620 a、
 620 b の長さが L である場合、SRAF 628 の長さは L + 2 * sbEndE
 xtension になる。SRAF によってカバーされる SGM 値についてのみ関心があるので、
 SGM 値関数 S(x) は以下のように再定義される。

20

【数 4 9】

$$S(x) = \sum_{y=L/2-sbEndExtension}^{L/2+sbEndExtension} SGM(x, y) \text{ for } x = [0, 1, \dots, space]$$

30

コンタクトについて第 1 のタイプの SRAF 配置ルールを決定することは、S(x) の
 定義が異なることを除いて、ラインフィーチャについて上述したものと同じである。

【0075】

[0087] 第 2 の種類の SRAF 配置ルール（すなわち、SRAF 好適パターンと SRAF
 非好適パターンとの間に SRAF を配置するためのルール）を決定することは、隣接する
 パターンに異なる重みが割り当てられることを除いて、第 1 の種類の SRAF 配置ルール
 を決定することと同様である。例えば、SRAF 好適パターンのエッジには、SRAF 非
 好適パターンのエッジより大きい重みが割り当てられる。

【0076】

[0088] 図 6 C は、本発明により SGM を使用して SRAF 配置ルールを生成するための
 テストフィーチャ及び座標系の一実施形態の図である。図 6 C のテストフィーチャは、第
 3 の種類の SRAF 配置ルール（すなわち、SRAF 好適フィーチャ又は SRAF 非好適
 フィーチャと非 SRAF フィーチャとの間に SRAF を配置するためのルール）を決定す
 るために使用される。中央のラインテストフィーチャ 632 は設計レイアウト内の最も重
 要な線幅の幅を有し、ラインテストフィーチャ 630 a 及び 630 b（非 SRAF フィー
 チャ）は無限に広いものと想定される。ラインテストフィーチャ 632 には大きい重みが
 割り当てられ、ラインテストフィーチャ 630 a、630 b には非常に小さい重みが割り
 当てられることを除いて、SRAF 配置ルールは図 6 A に併せて上述した通りに決定され
 る。

40

【0077】

50

[0089] 配置ルールに応じてS R A Fが配置された後、マスクレイアウトの2 D効果を説明するためにS G Mを使用して各S R A Fの配置、幅、及び長さを微調整することができる。ポリ(金属)レイヤの場合、メインフィーチャの長さはその幅よりかなり大きいと仮定して、S R A F配置ルールが生成される。しかし、この仮定は常に有効であるわけではない。例えば、ラインエンド付近の領域の場合、S G Mは、配置されたS R A Fがルールによって指図された幅よりわずかに広くなければならないことを示すことができる。その後、このS R A Fを太くすることもできる。各S R A FによってカバーされるS G M値は、潜在的な矛盾を解決するためにそのS R A Fの優先順位として使用することもできる。例えば、異なるメインフィーチャセグメントからのS R A Fがオーバーラップする場合、優先順位が低いS R A Fを先に変更してオーバーラップを取り除く。

10

【0078】

[0090] 図7は、本発明の一実施形態によりS G Mを使用するS R A Fのルールなし配置に関する方法ステップのフローチャートである。図7の実施形態では、まずS R A F配置ルールを生成する代わりに、S G Mから直接S R A Fを導出する。この実施形態では、S G Mの領域がS R A F多角形に変換される。それぞれのS R A F多角形は、細いバーの形状であって、水平又は垂直のいずれかに方向付けられ、 $[W_{min}, W_{max}]$ という範囲内の幅を有することが必要である。

【0079】

[0091] ステップ710では、ポジティブ領域、すなわち、S R A Fが望まれる領域を識別するためにS G Mをしきい値化する。このしきい値化はバイナリイメージS G M Bを生成するものである。ステップ712では、標準的なイメージ処理方法を使用して、S G M B内の接続されたポジティブ領域を識別する。ステップ714では、S B MにS G M Bを掛けてS G M Cを生成し、S G M Bのそれぞれのポジティブピクセルに対しS G M内でそれに対応する値が割り当てられるようにする。ステップ716では、それぞれの接続領域について、S G M Cの1次元のx投影及びy投影を計算する。ステップ718では、ルール生成に関する上記のダイナミックプログラミング手法を1次元の投影に適用することにより、すべてのS R A F座標(すなわち、すべてのS R A Fを配置すべき位置)を抽出する。ステップ720では、それぞれのS R A Fによってカバーされる全S G M値をその優先順位として使用して、S R A Fの配置間の矛盾を解決する。S R A Fの配置間で考えられる矛盾としては、S R A F間の最小許容終端間距離及びS R A F間の最小許容コーナ

20

30

【0080】

[0092] 図8は、本発明の一実施形態によりモデルベースのS R A F生成をO P C補正の適用と統合するための方法ステップのフローチャートである。典型的に、O P C補正イメージデータ(M^C)はプレO P Cマスクイメージデータ(M^T)に比べて極めて小さく、従って、ポストO P Cマスクイメージ

【数50】

$$M^K(x) = M^T(x) + M^C(x) \approx M^T$$

になり、S G MはプレO P Cレイアウトに依存するだけである。従って、O P C補正を適用する前に、S G Mを生成することができ、S R A Fをレイアウト内に配置することができる。しかし、O P C補正を無視できない場合、S G M生成及びS R A F配置をO P C補正の適用と統合することができる。

40

【0081】

[0093] ステップ810では、まず設計(プレO P C)レイアウトを使用してS G Mを生成し、上記の通り、S G Mを使用して生成された配置ルールを使用してまたはS G Mから直接、設計レイアウト内にS R A Fを配置する。ステップ812では、S R A Fを含む設計レイアウトにO P C、マスクルールチェック(M R C)、及びS R A F印刷適性補正を適用する。ステップ814では、ポストO P Cレイアウトを使用して新しいS G Mを生成するか及び/又はポストO P Cレイアウト内のS R A Fを置き換える。ステップ814の

50

S G Mの再生成は任意選択である。ステップ816では、終了条件を満足する場合、方法は終了するが、終了条件を満足しない場合、方法はステップ812に戻り、そこでもう一度繰り返して、O P C、M R C、及びS R A F印刷適性補正を適用する。終了条件は、最大反復回数にするか、又はシミュレートされたレジスト像輪郭が設計ターゲットに十分近いかどうかの判断にすることができる。

【0082】

[0094] O P C及びその他の補正を繰り返すたびにS R A Fの配置を調整すると、極めて効率的である可能性がある。例えば、O P C補正を1回繰り返した後、所望の幅ではないか又はまったく配置できないなどのM R C制約のために、S G Mにより特定のS R A Fが配置されない場合がある。しかし、もう一度、O P Cを繰り返した後、これらのS R A Fを配置する余裕ができる場合もある。

10

【0083】

[0095] 図9は、従来技術のS R A F配置ルールにより配置されたS R A Fを含む設計ターゲットレイアウトを示す図である。図9は、ポストO P Cレイアウトに関するシミュレートされたレジスト輪郭も示している。ホットスポット910で測定したクリティカルディメンション(すなわち、線幅)は49.6nmであり、ホットスポット912におけるクリティカルディメンションは40nmであり、ホットスポット914におけるクリティカルディメンションは44nmであり、ホットスポット916におけるクリティカルディメンションは29.3nmであり、ホットスポット918におけるクリティカルディメンションは35.5nmである。ホットスポット916は特に、シミュレートされたレジスト輪郭が設計目標の線幅よりかなり狭くなっている「ネックング(necking)」と呼ばれるものを示している。

20

【0084】

[0096] 図10は、S G Mを使用して作成されたS R A F配置ルールにより配置されたS R A Fを含む同じ設計ターゲットレイアウトを示す図である。図10は、このポストO P Cレイアウトに関するシミュレートされたレジスト輪郭も示している。ホットスポット1010で測定したクリティカルディメンションは49.77nmであり、ホットスポット1012におけるクリティカルディメンションは47.44nmであり、ホットスポット1014におけるクリティカルディメンションは44.75nmであり、ホットスポット1016におけるクリティカルディメンションは41.24nmであり、ホットスポット1018におけるクリティカルディメンションは40.72nmである。図9及び図10の測定クリティカルディメンションを比較する際に分かるように、S G Mを使用して配置されたS R A Fを有するポストO P Cレイアウトでは、結果的に、シミュレートされたレジスト輪郭がそのレイアウトと良好に一致し、ホットスポットにおけるクリティカルディメンションが改善される。

30

【0085】

[0097] S G Mは、S R A Fの配置以外の適用例で使用することもできる。S G Mを使用して、プレO P C(設計ターゲット)レイアウト内のホットスポットを識別することができる。このフィーチャなしで計算された非常に小さいS G M値を有する領域にメインフィーチャが存在する場合、このフィーチャは隣接するパターンのエッジのプロセスウィンドウ及び設計の全体的なプロセスウィンドウに悪影響を及ぼす。また、より大きいS G M値を有する領域にホットスポットをシフトすることによってホットスポットを修理するためにS G Mを使用することもできる。順に露光された2つのグループのパターンにフルチップ設計が分離される二重露光設計でS G Mを使用することもできる。すべてのパターンを2つのグループに分離する際に、幾つかのパターンは曖昧になり、すなわち、そのパターンがいずれかのグループに配置された場合、いずれのルールにも違反しない。このようなパターンの場合、S G Mを使用すると、より大きいS G M値を有するレイアウトを選択することによってどのグループにそのパターンを配置すべきかを決定することができる。また、S G Mを使用して、あるレイアウトに関する全体的なバイアスルール、すなわち、あるパターンをどの程度拡大又は縮小すべきかを決定することもできる。

40

50

【0086】

本発明の特定の諸態様の追加の説明

[0098] 本発明の特定の諸実施形態は、マスクレイアウト内にサブレゾリューションアシストフィーチャを配置するためのシステム及び方法を提供する。これらの諸実施形態の幾つかは、マスクレイアウトに関するSRAFガイドスマップを生成することであって、SRAFガイドスマップは、ピクセルがサブレゾリューションアシストフィーチャの一部として含まれる場合にそのピクセルがマスクレイアウト内のフィーチャのエッジ挙動に積極的に寄与するかどうかを各ピクセル値が示す像であることと、SRAFガイドスマップによりマスクレイアウト内にサブレゾリューションアシストフィーチャを配置することを含む。これらの諸実施形態の幾つかでは、SRAFガイドスマップを生成すること
10
は、マスクレイアウト内の各フィールドポイントについてマスクレイアウトの像勾配マップを計算することと、像勾配マップを使用してフィールドポイントにおけるユニットソースに関する投票総計を計算することと、SRAFガイドスマップ内の値を割り当てることであって、SRAFガイドスマップ内のピクセルにおける値がマスクレイアウト内の対応するフィールドポイントにおける投票総計になることを含む。これらの諸実施形態の幾つかでは、フィールドポイントにおけるユニットソースに関する投票総計を計算することは、周波数領域で実行され、且つ、露光ツールの光路を表す透過クロス係数の最も重要な固有ベクトルの逆フーリエ変換を計算することと、マスクレイアウトのフーリエ変換を計算することと、逆フーリエ変換にマスクレイアウトのフーリエ変換及び周波数の和平方
20
(sum square)を掛けて積を生成することと、積の逆フーリエ変換を計算してSRAFガイドスマップを生成することを含む。これらの諸実施形態の幾つかでは、SRAFガイドスマップを生成することは、露光ツールの光路を表す透過クロス係数を使用して双線形SRAFガイドスマップカーネルを計算することと、透過クロス係数を使用して線形SRAFガイドスマップカーネルを計算することと、双線形SRAFガイドスマップカーネル及びマスクレイアウトを使用して部分的SRAFガイドスマップを計算することと、線形SRAFガイドスマップカーネル及びマスクレイアウトを使用して第2の部分的SRAFガイドスマップを計算することと、部分的SRAFガイドスマップと第2の部分的SRAFガイドスマップを結合することを含む。これらの諸実施形態の幾つかでは、この方法及びシステムは、SRAFガイドスマップを使用してSRAF配置ルールを生成することを含むことができる。これらの諸実施形態の幾つかでは、マスクレイ
30
アウトは光近接効果補正を含む。これらの諸実施形態の幾つかでは、この方法は、コンピューティングデバイス上で実行するための命令としてコンピュータ可読媒体に格納することができる。

【0087】

[0099] これらの諸実施形態の幾つかは、サブレゾリューションアシストフィーチャを含むマスクレイアウトデータを含むか又は生成し、サブレゾリューションアシストフィーチャはSRAFガイドスマップにより配置され、SRAFガイドスマップは、ピクセルがサブレゾリューションアシストフィーチャの一部として含まれる場合にそのピクセルがマスクレイアウト内のフィーチャのエッジ挙動に積極的に寄与するかどうかを各ピクセル値が示す像である。これらの諸実施形態の幾つかでは、SRAFガイドスマップは、露
40
光ツールの光路を表す透過クロス係数の最も重要な固有ベクトルの逆フーリエ変換を計算することと、マスクレイアウトのフーリエ変換を計算することと、逆フーリエ変換にマスクレイアウトのフーリエ変換及び周波数の和平方を掛けて積を生成することと、積の逆フーリエ変換を計算してSRAFガイドスマップを生成することによって生成される。これらの諸実施形態の幾つかでは、初期マスクレイアウトは光近接効果補正を含む。これらの諸実施形態の幾つかでは、SRAFガイドスマップは、露光ツールの光路を表す透過クロス係数を使用して双線形SRAFガイドスマップカーネルを計算することと、透過クロス係数を使用して線形SRAFガイドスマップカーネルを計算することと、双線形SRAFガイドスマップカーネル及びマスクレイアウトを使用して部分的SRAFガイドスマップを計算することと、線形SRAFガイドスマップカーネル及びマスクレイ
50

アウトを使用して第2の部分的SRAFガイドスマップを計算することと、部分的SRAFガイドスマップと第2の部分的SRAFガイドスマップを結合することによって生成される。これらの諸実施形態の幾つかでは、初期マスクレイアウトは光近接効果補正を含む。

【0088】

[00100] これらの諸実施形態の幾つかは、サブレゾリューションアシストフィーチャを含むマスクレイアウトを有するマスクを含むか又は生成し、サブレゾリューションアシストフィーチャはSRAFガイドスマップにより配置され、SRAFガイドスマップは、ピクセルがサブレゾリューションアシストフィーチャの一部として含まれる場合にそのピクセルがマスクレイアウト内のフィーチャのスルーフォーカス及びスルドーズエッジ挙動に積極的に寄与するかどうかを各ピクセル値が示す像である。これらの諸実施形態の幾つかでは、SRAFガイドスマップは、露光ツールの光路を表す透過クロス係数の最も重要な固有ベクトルの逆フーリエ変換を計算することと、マスクレイアウトのフーリエ変換を計算することと、逆フーリエ変換にマスクレイアウトのフーリエ変換及び周波数の和平方を掛けて積を生成することと、積の逆フーリエ変換を計算してSRAFガイドスマップを生成することによって生成される。これらの諸実施形態の幾つかでは、初期マスクレイアウトは光近接効果補正を含む。これらの諸実施形態の幾つかでは、SRAFガイドスマップは、露光ツールの光路を表す透過クロス係数を使用して双線形SRAFガイドスマップカーネルを計算することと、透過クロス係数を使用して線形SRAFガイドスマップカーネルを計算することと、双線形SRAFガイドスマップカーネル及びマスクレイアウトを使用して部分的SRAFガイドスマップを計算することと、線形SRAFガイドスマップカーネル及びマスクレイアウトを使用して第2の部分的SRAFガイドスマップを計算することと、部分的SRAFガイドスマップと第2の部分的SRAFガイドスマップを結合することによって生成される。これらの諸実施形態の幾つかでは、初期マスクレイアウトは光近接効果補正を含む。

【0089】

[00101] 後者の諸実施形態のうちの特定のものを含む本発明の特定の諸実施形態は、マスクレイアウト内の1つ又は複数のフィーチャの位置を決定するためのシステム及び方法を提供し、マスクレイアウト内に第1のフィーチャを配置することと、第1のフィーチャの配置に基づいてマスクシミュレーションを実行することと、マスクシミュレーションを実行することがSRAFガイドスマップを生成することを含むことと、シミュレーションから得られた結果に基づいてマスクレイアウト内に第2のフィーチャを配置するための位置を決定することを含む。これらの諸実施形態の幾つかは、決定された位置に第2のフィーチャを配置することと、前に配置されたフィーチャに基づいてマスクシミュレーションを実行するステップを反復して繰り返し、マスクレイアウト内に他のフィーチャを配置するための位置を決定し、所望の数のフィーチャがマスク設計内に配置されるまで他のフィーチャを配置することをさらに含む。これらの諸実施形態の幾つかは、OPCを使用してマスクレイアウトを最適化することをさらに含む。これらの諸実施形態の幾つかは、超解像技術を使用してマスクレイアウトを最適化することをさらに含む。これらの諸実施形態の幾つかは、複数のレイアウトガイドスマップをさらに含み、それぞれのレイアウトガイドスマップはマスクレイアウトのシミュレートされた結像性能を表す。これらの諸実施形態の幾つかでは、各LGMは複数のピクセル値を含む2次元像を含み、フィーチャの配置はピクセル値のうちの一つ又は複数に基づいて計算される。これらの諸実施形態の幾つかでは、ピクセル値のそれぞれはピクセル上に配置されたフィーチャの一部分のマスクレイアウト内の1つ又は複数のパターンの印刷適性に対する効果を示す。これらの諸実施形態の幾つかでは、印刷適性に対する効果は否定的効果である。これらの諸実施形態の幾つかでは、ピクセル上に配置されたフィーチャの一部分によって1つ又は複数のパターンの印刷適性が強化される。

【0090】

[00102] 特定の諸実施形態に関連して本発明について上記で説明してきた。しかし、特

10

20

30

40

50

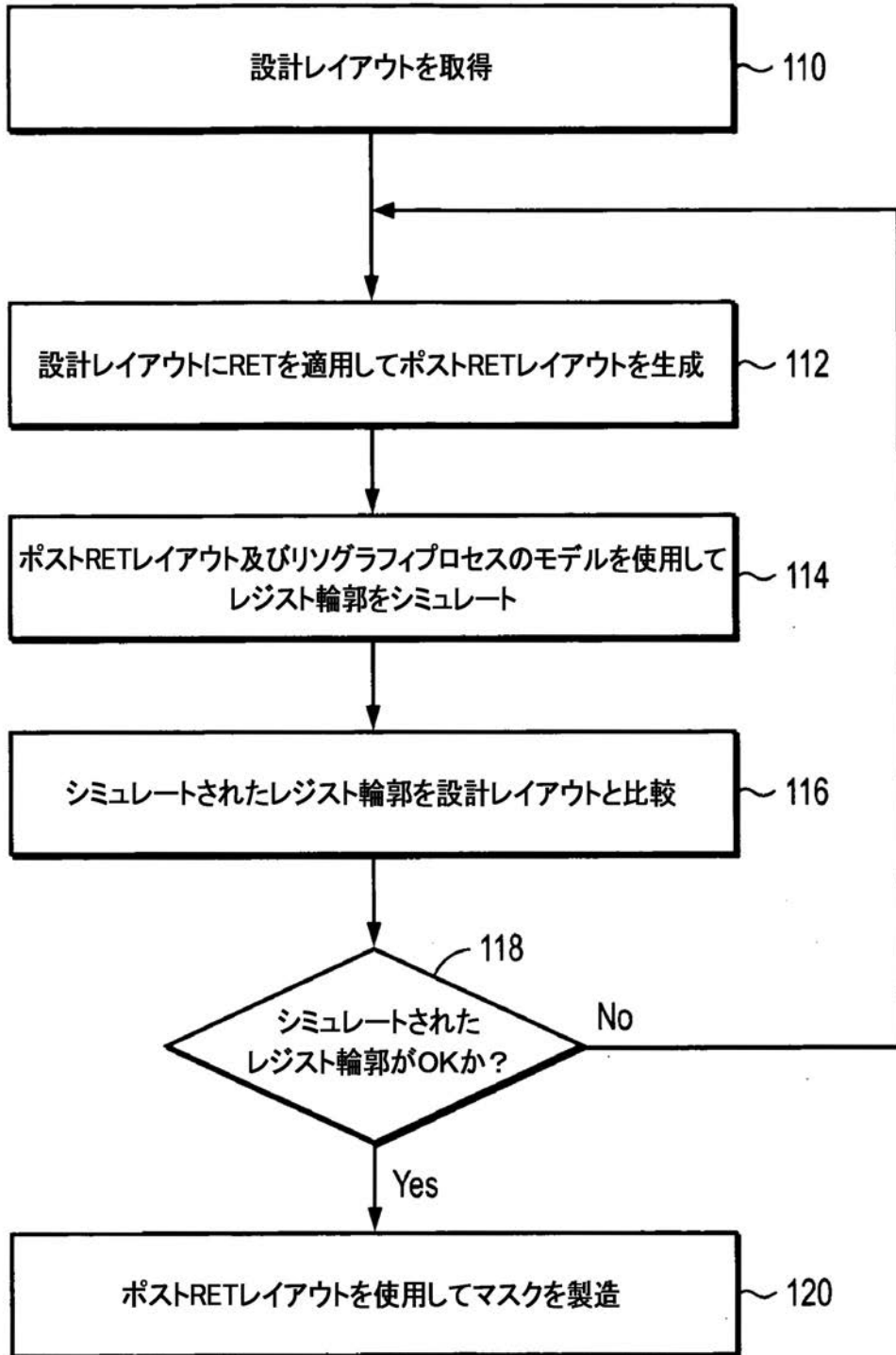
許請求の範囲に明記されている本発明のより広い精神及び範囲を逸脱せずにそれに対して種々の修正及び変更を行えることは明らかであろう。従って、上記の説明及び図面は、制限的意味ではなく、例示的意味で考慮すべきである。

【 0 0 9 1 】

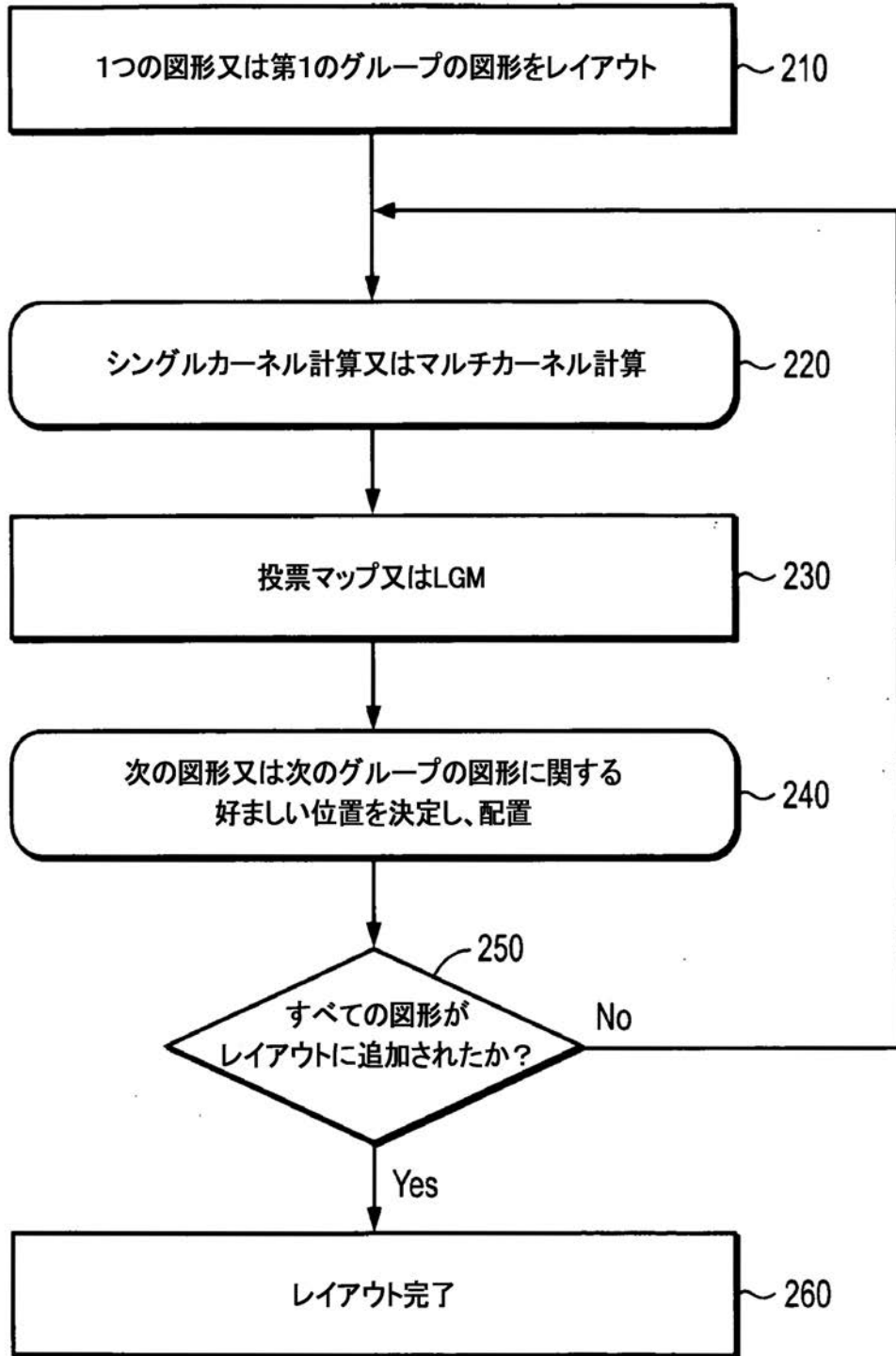
関連出願の相互参照

本出願は、2007年6月4日出願の米国特許出願第11/757,805号"System and Method for Model-Based Sub-Resolution Assist Feature Generation"の恩恵/に対する優先権を主張するものであり、2007年8月28日出願の米国特許仮出願第60/935,713号の恩恵/に対する優先権も主張するものである。

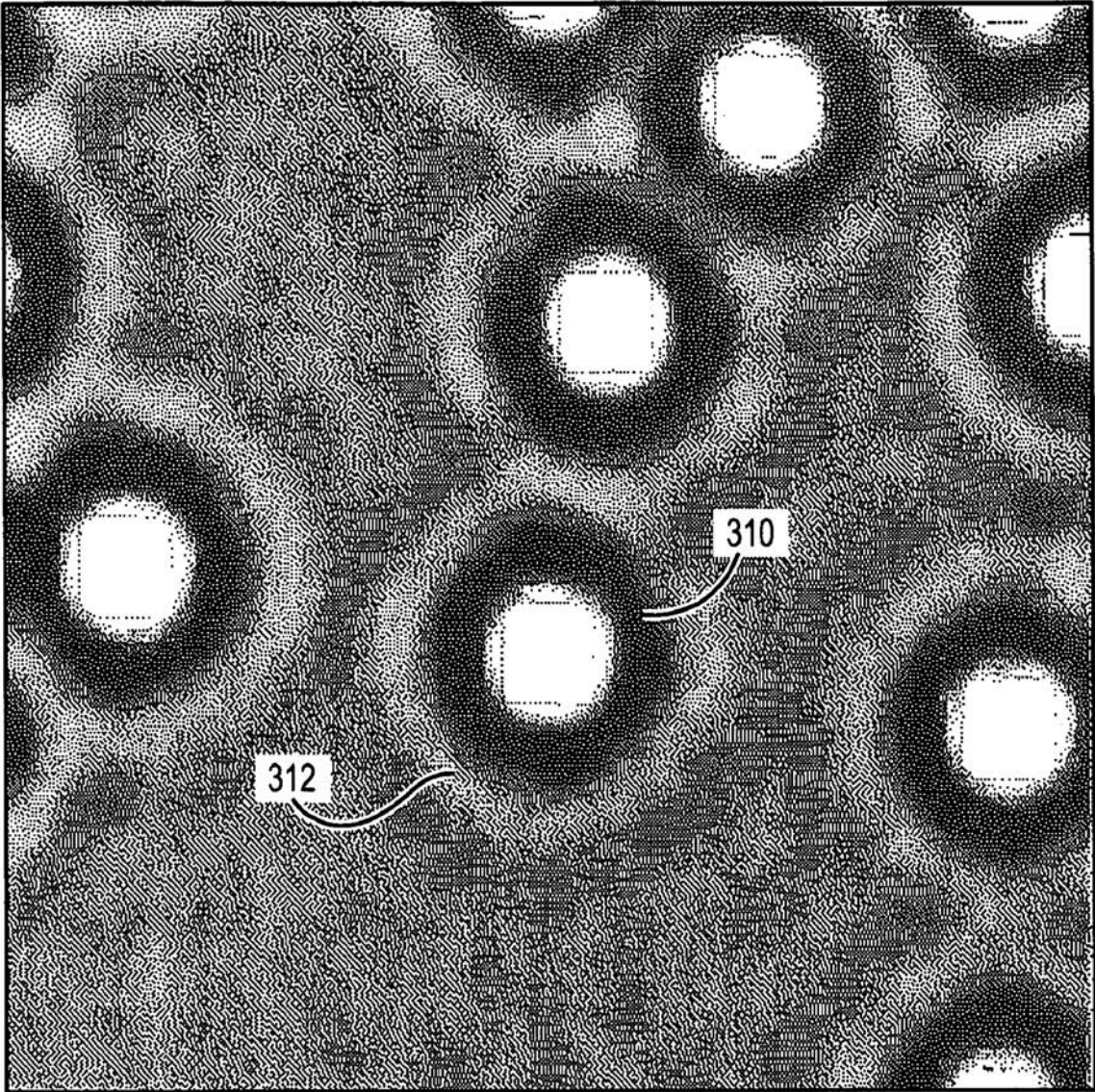
【 図 1 】



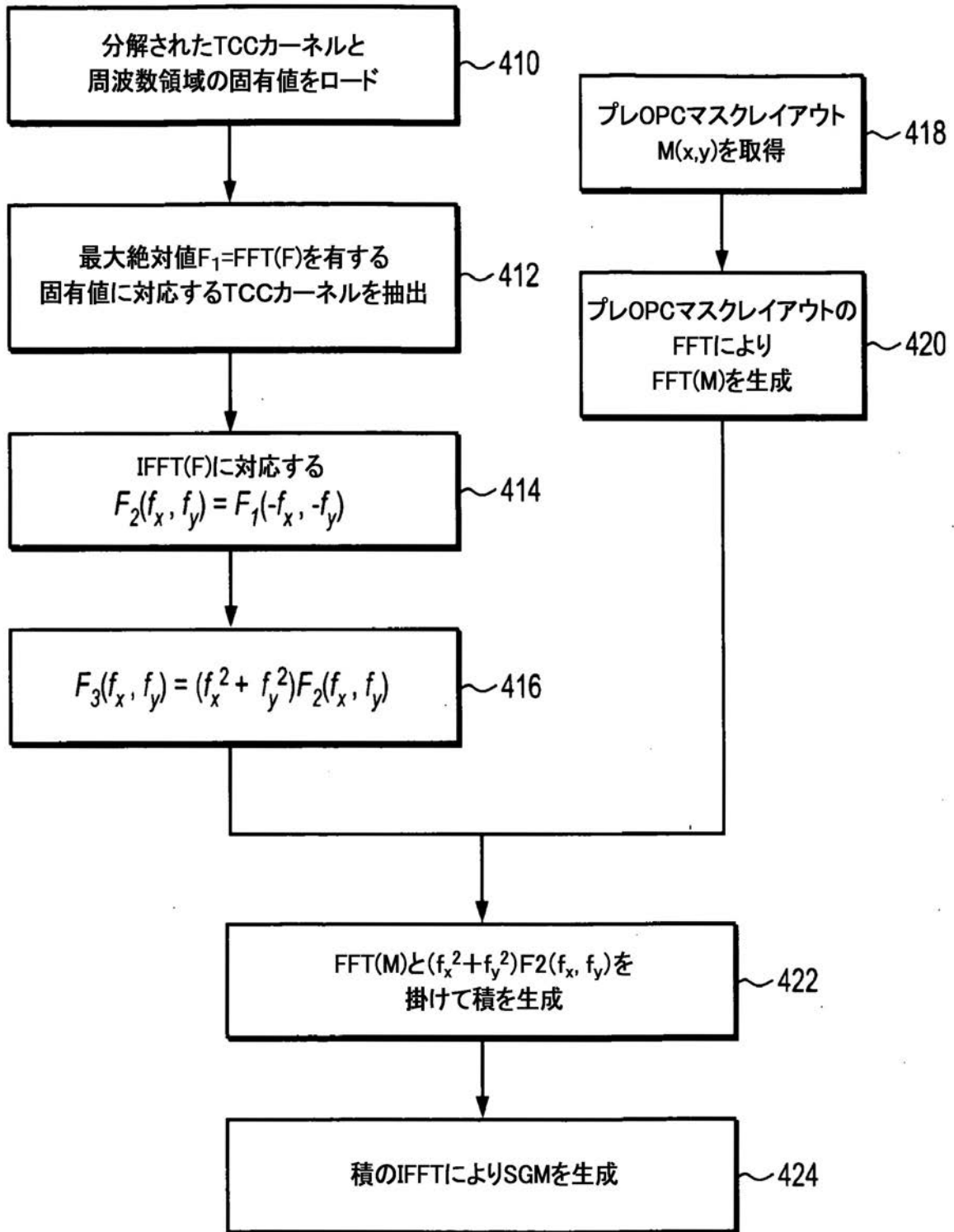
【図2】



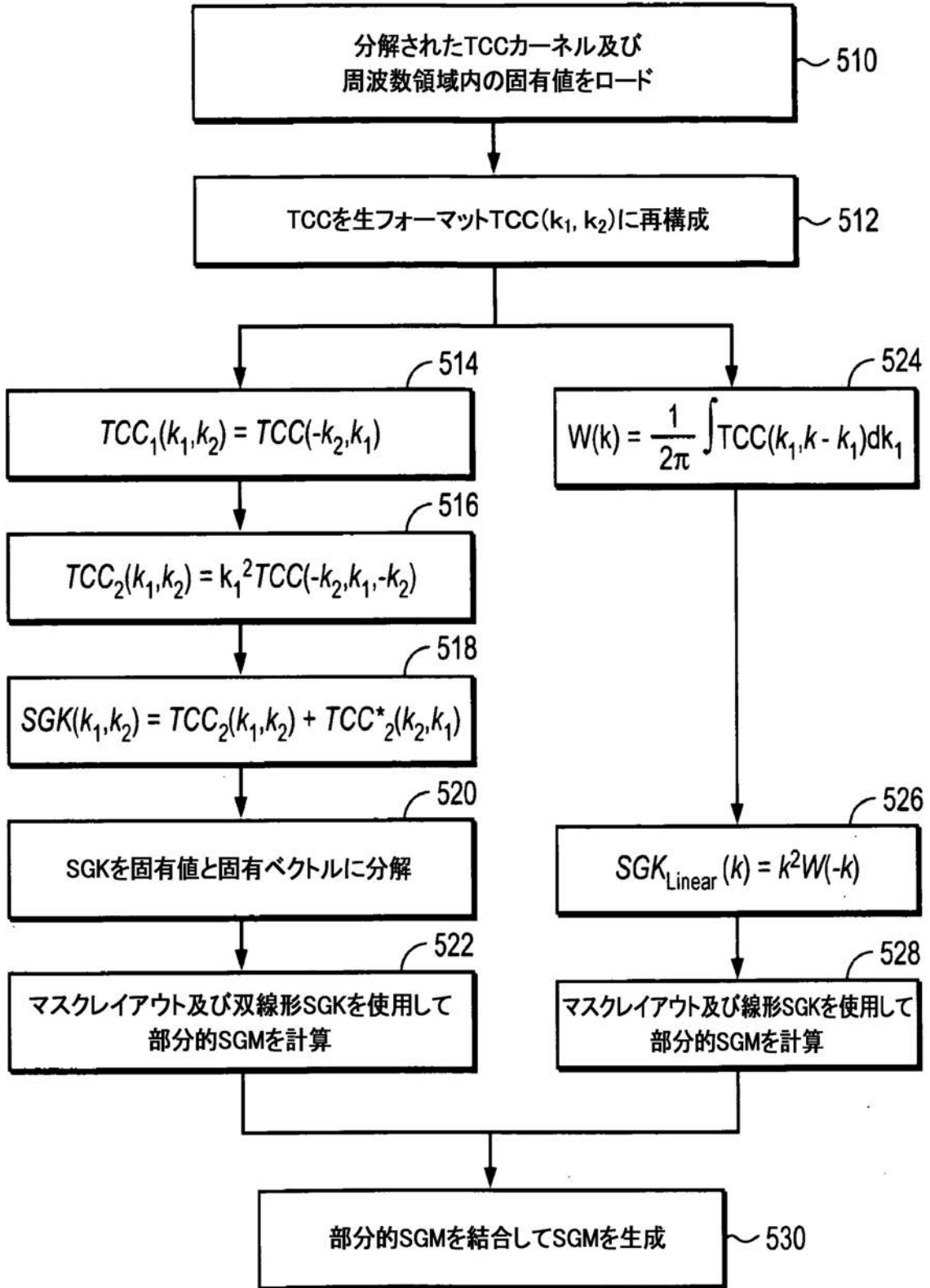
【 図 3 】



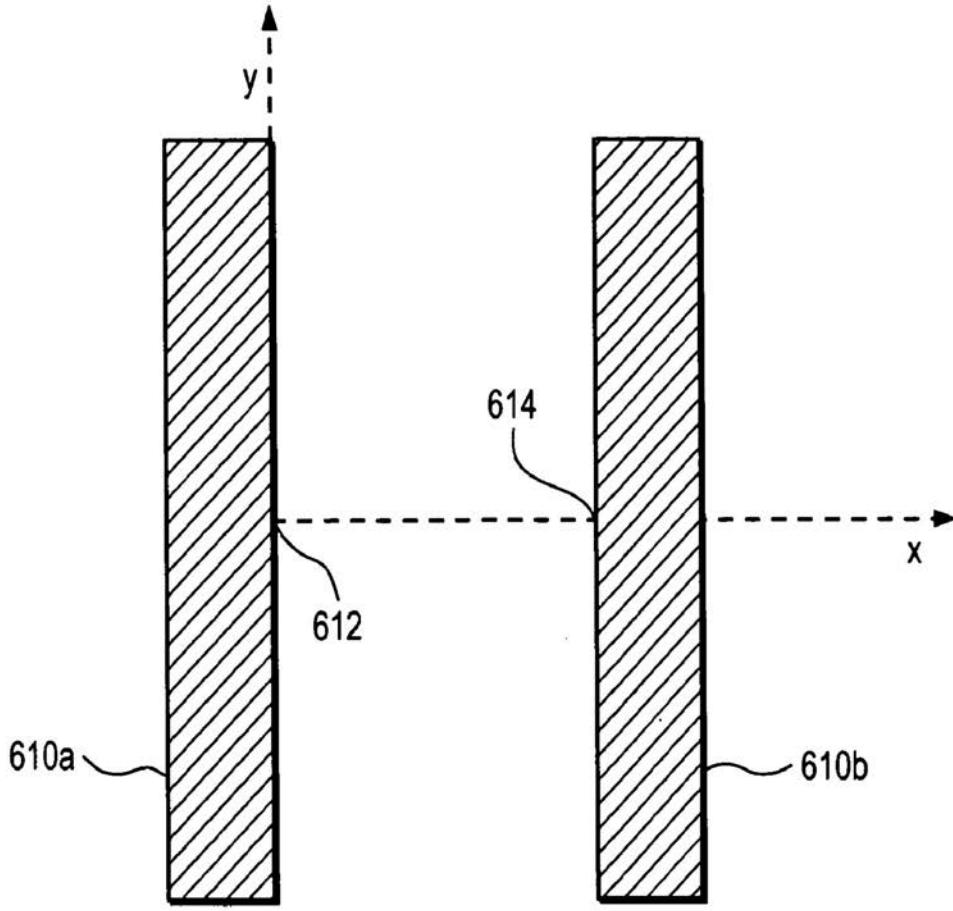
【 図 4 】



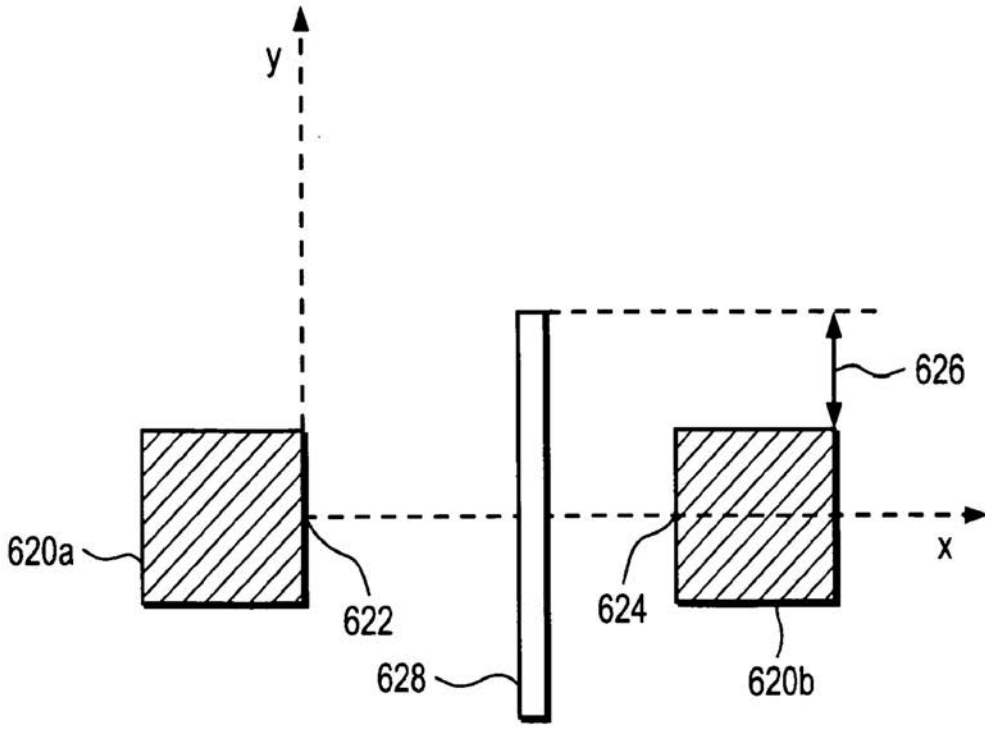
【図5】



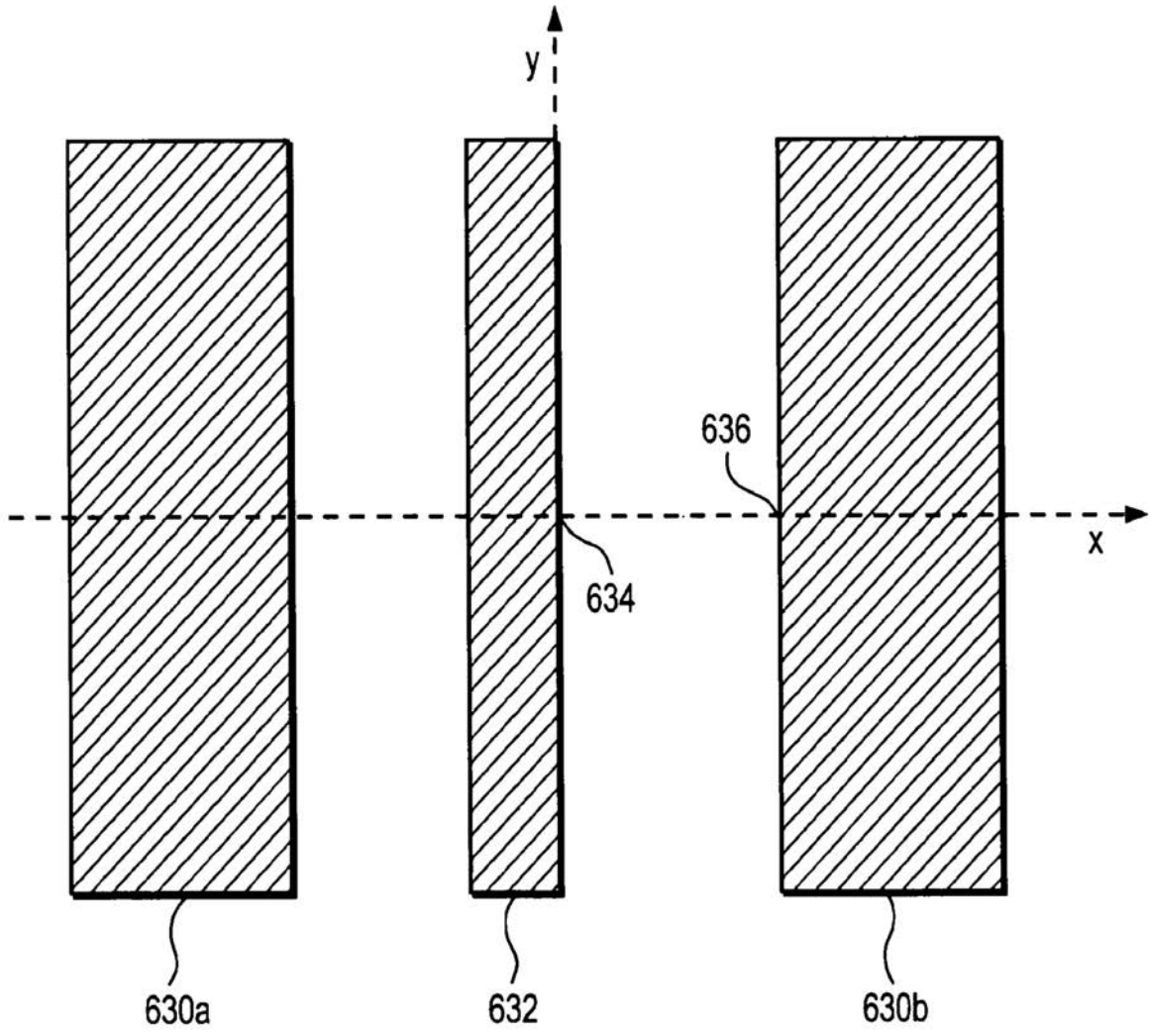
【 図 6 A 】



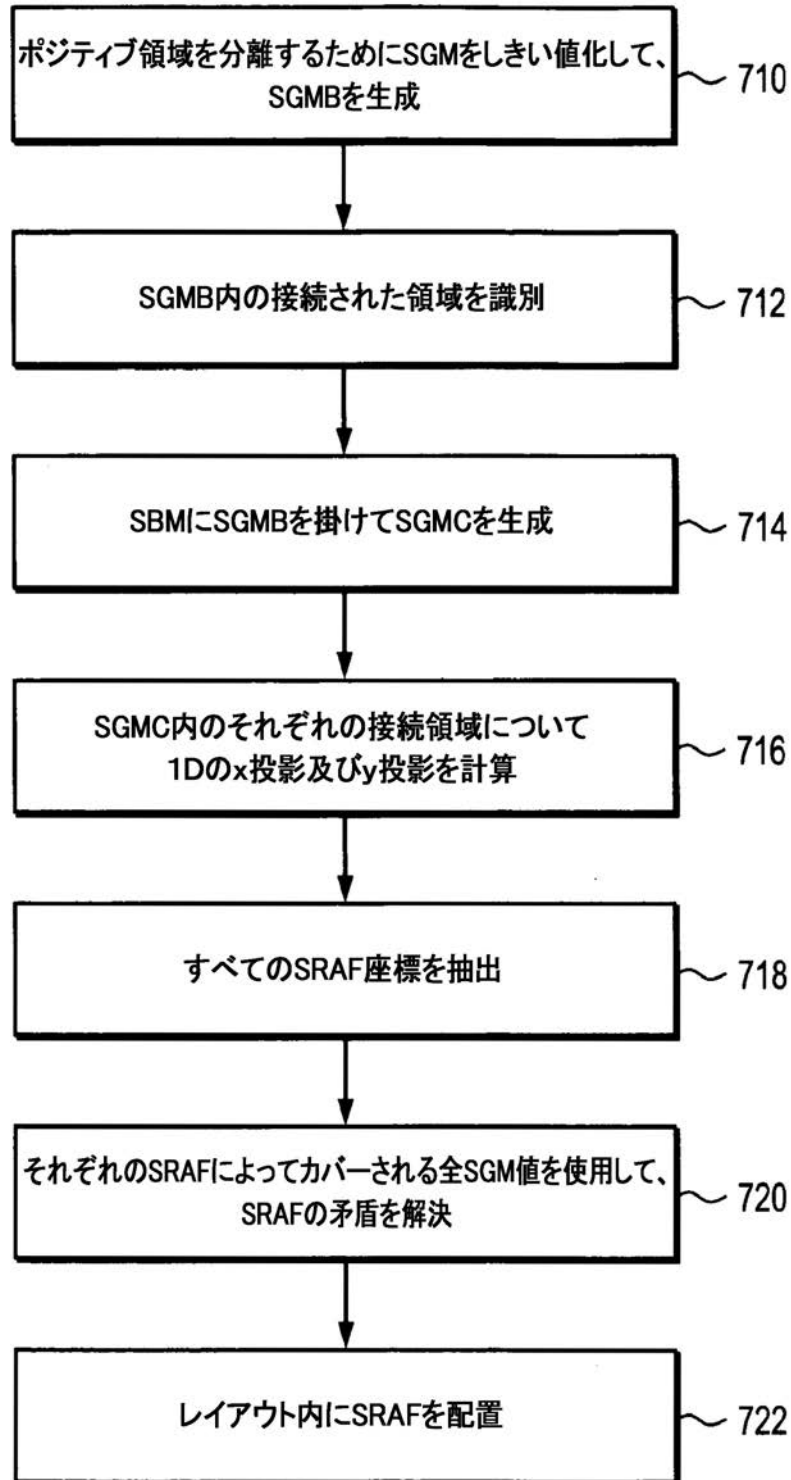
【 図 6 B 】



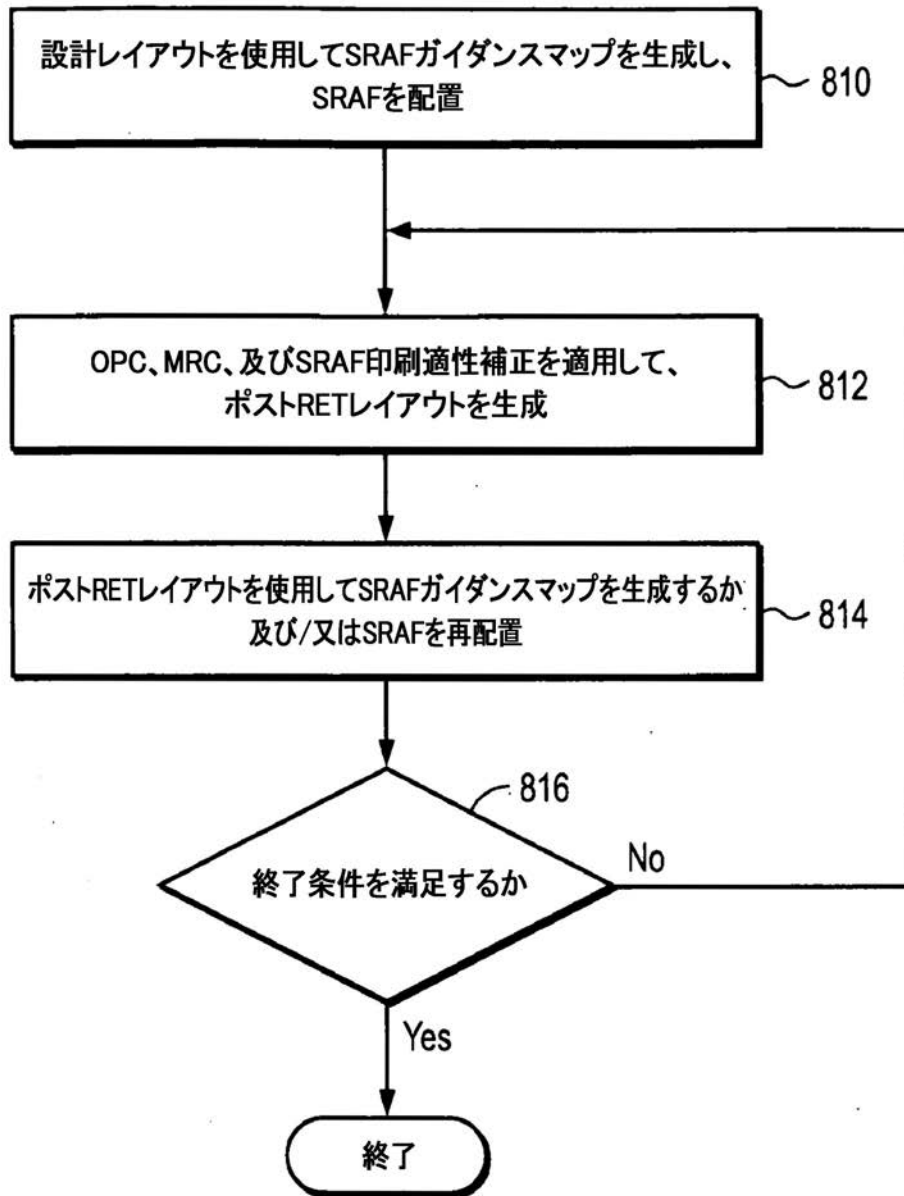
【 図 6 C 】



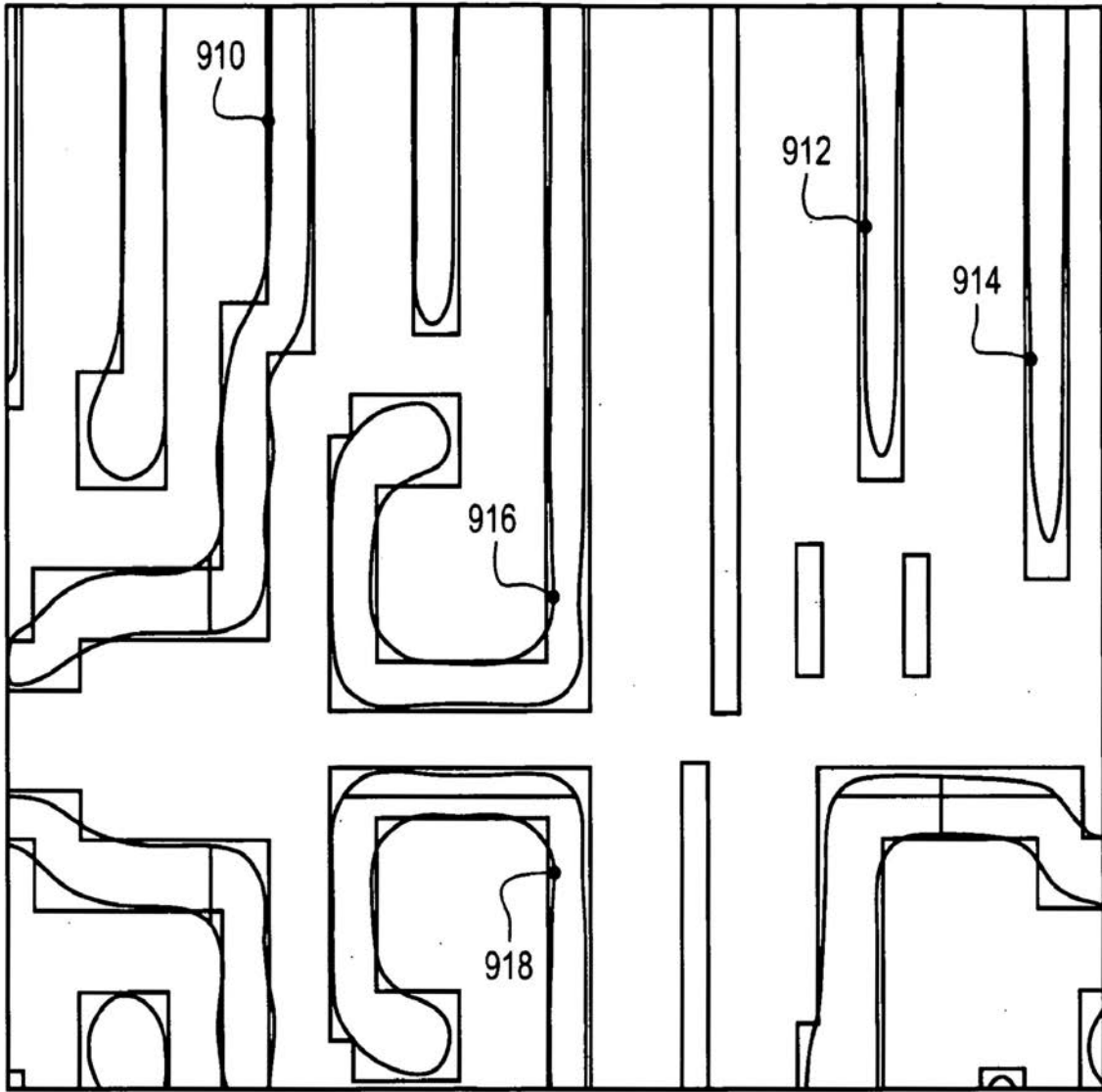
【図7】



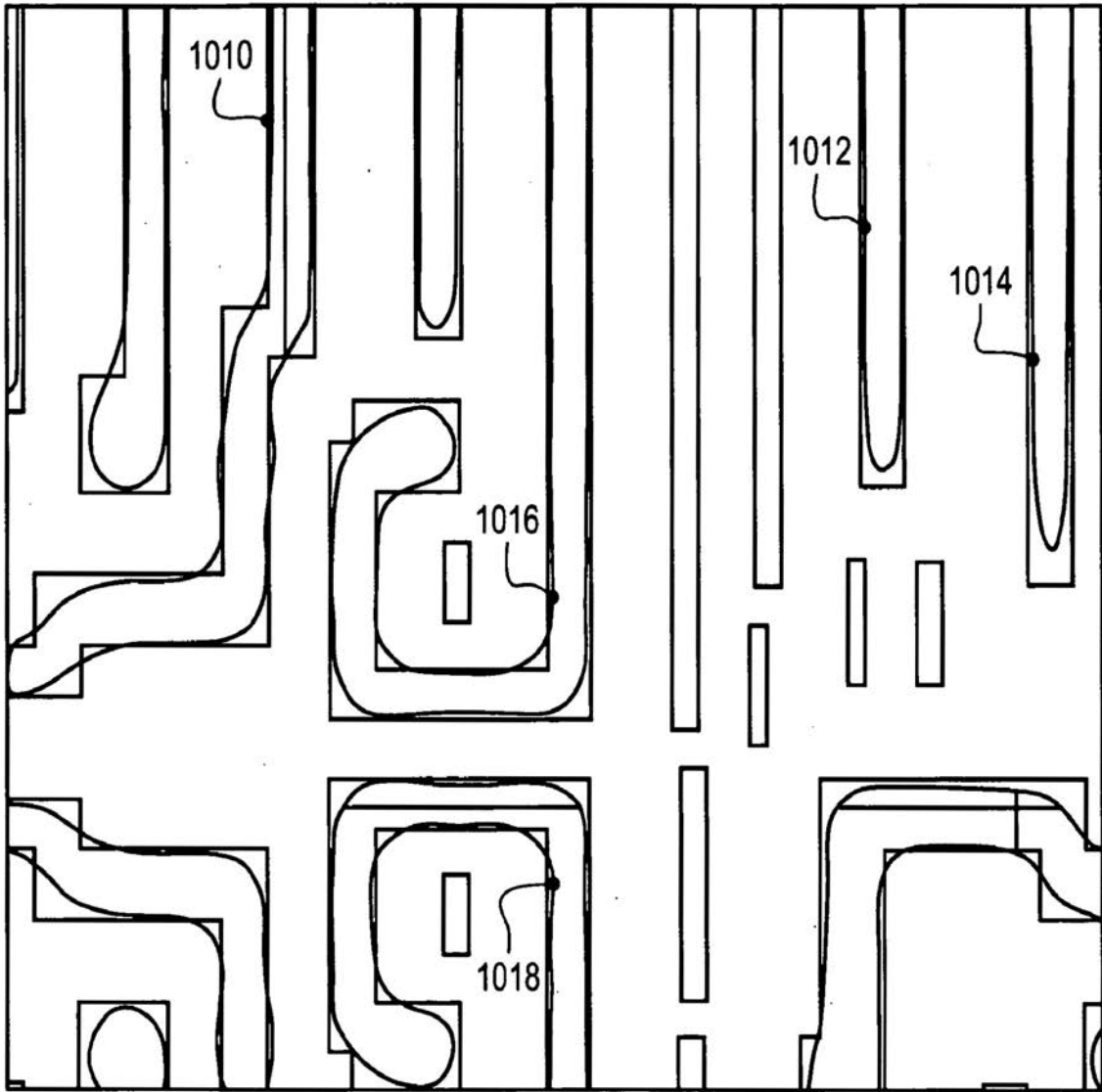
【 図 8 】



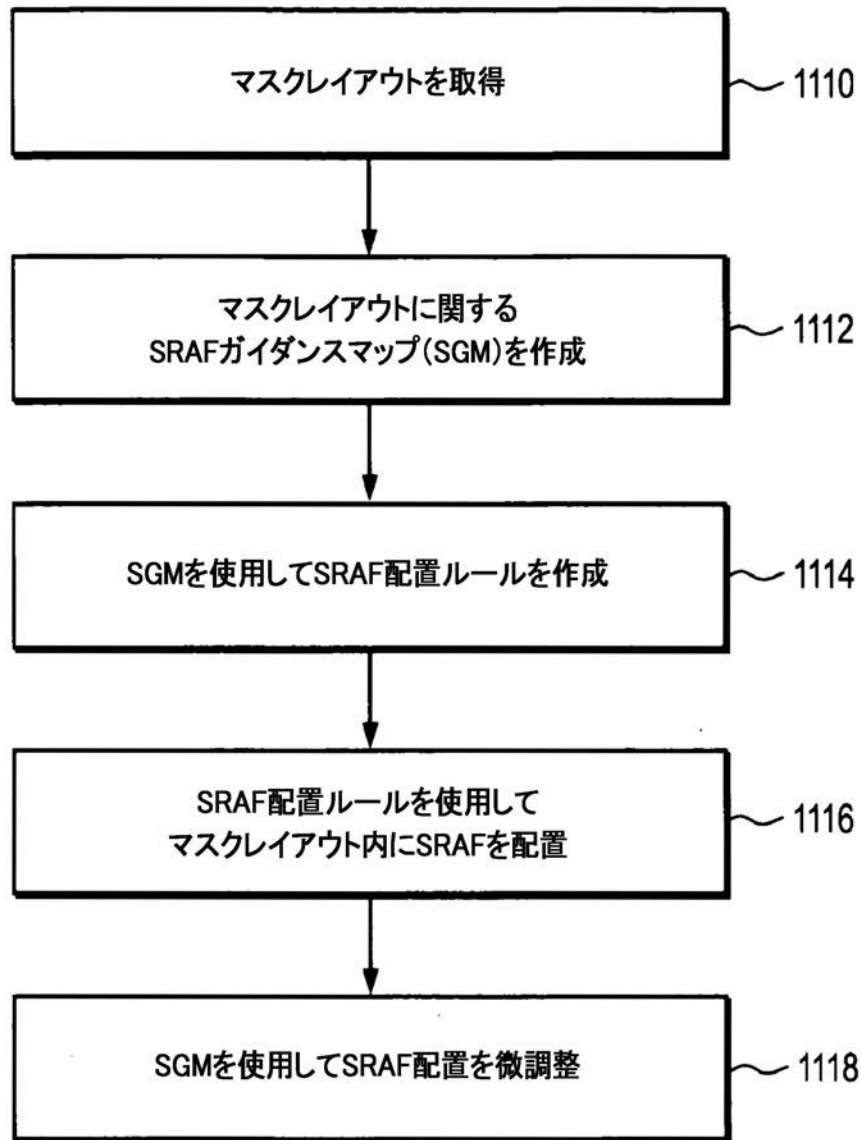
【 図 9 】



【図10】



【図 1 1】



【手続補正書】

【提出日】平成25年6月27日(2013.6.27)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

マスクレイアウトにサブレゾリューションアシストフィーチャ (SRAF) を配置するための方法であって、

マスクレイアウトについての SRAF ガイダンスマップを生成することと、

前記 SRAF ガイダンスマップに従って前記マスクレイアウトに SRAF を配置することと、

補正されたマスクレイアウトを使用して、新たな SRAF ガイダンスマップを生成することと、

前記新たな SRAF ガイダンスマップに従って前記補正されたマスクレイアウトに次の SRAF を配置することと、

新たなS R A Fガイドスマップを生成するステップと、前記次のS R A Fを配置するステップと、を反復プロセスにおいて、終了条件が満たされるまで繰り返すことと、を含む、方法。

【請求項2】

次のS R A Fを反復的に配置するステップは、前回のS R A Fを完全に新たなS R A Fに置き換えることを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項3】

次のS R A Fを反復的に配置するステップは、前回のS R A Fの少なくとも一部を保持することと、前記次のS R A Fを取得するために前記前回のS R A Fを調整することと、を含む、請求項1に記載の方法。

【請求項4】

前記補正されたマスクレイアウトを生成するために前記マスクレイアウトにあるものの目標パターンに光近接効果補正（O P C）を適用することをさらに含む、請求項1から3の何れか一項に記載の方法。

【請求項5】

前記反復プロセスは、
新たなS R A Fガイドスマップを生成するために、前回の補正されたマスクレイアウトを使用することと、

次のS R A Fを生成するために、前記新たなS R A Fガイドスマップを使用することと、

前記次のS R A Fを含む次の回の補正されたマスクレイアウトを生成するために、前記前回の補正されたマスクレイアウトにO P Cを適用することと、

前記終了条件が満たされているか否かを決定するために、前記次の回の補正されたマスクレイアウトを使用することと、を含む、請求項4に記載の方法。

【請求項6】

前記S R A Fガイドスマップを使用してS R A F配置ルールを生成することをさらに含む、

請求項1から5の何れか一項に記載の方法。

【請求項7】

前記マスクレイアウトは、予め定義されたマスクバイアスを含む、請求項1から6の何れか一項に記載の方法。

【請求項8】

前記終了条件は、最大反復回数である、請求項1から7の何れか一項に記載の方法。

【請求項9】

前記終了条件は、シミュレートされたレジスト像輪郭が設計ターゲットに十分近いことである、請求項1から7の何れか一項に記載の方法。

【請求項10】

マスクレイアウトに相当するファイルを生成することをコンピュータに実行させるためのコンピュータプログラムであって、

前記マスクレイアウトについてのS R A Fガイドスマップを生成するステップと、
前記S R A Fガイドスマップに従って前記マスクレイアウトにS R A Fを配置するステップと、

補正されたマスクレイアウトを使用して、新たなS R A Fガイドスマップを生成するステップと、

前記新たなS R A Fガイドスマップに従って前記補正されたマスクレイアウトに次のS R A Fを配置するステップと、

新たなS R A Fガイドスマップを生成するステップと、前記次のS R A Fを配置する

ステップと、を反復プロセスにおいて、終了条件が満たされるまで繰り返すステップと、を含む方法を実行するための命令を有する、コンピュータプログラム。

【請求項 1 1】

次の S R A F を反復的に配置するステップは、前回の S R A F を完全に新たな S R A F に置き換えることを含む、請求項 1 0 に記載のコンピュータプログラム。

【請求項 1 2】

次の S R A F を反復的に配置するステップは、前回の S R A F の少なくとも一部を保持することと、前記次の S R A F を取得するために前記前回の S R A F を調整することと、を含む、請求項 1 0 に記載のコンピュータプログラム。

【請求項 1 3】

前記補正されたマスクレイアウトを生成するために前記マスクレイアウトにあるもとの目標パターンに光近接効果補正 (O P C) を適用することをさらに含む、請求項 1 0 から 1 2 の何れか一項に記載のコンピュータプログラム。

フロントページの続き

(72)発明者 カオ, ユ

アメリカ合衆国, カリフォルニア州 9 5 0 1 4, クパチーノ, マイヤー プレイス 1 0 1 5 7

(72)発明者 フェン, ハニング

アメリカ合衆国, カリフォルニア州 9 4 5 5 5, フレモント, マルベリー テル 3 4 2 9 6

Fターム(参考) 2H095 BB02 BB36 BC09

5B046 AA08 BA04

5B057 AA03 CA12 CA16 CB12 CB16 CF05 CH08 DA07 DA17 DB02

DB08 DC05 DC09 DC16

【外国語明細書】

2013190828000001.pdf