

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5501397号
(P5501397)

(45) 発行日 平成26年5月21日 (2014.5.21)

(24) 登録日 平成26年3月20日 (2014.3.20)

| | | | | |
|---------------|---------------|------------------|--------|---------------|
| (51) Int. Cl. | | F I | | |
| HO 1 L | 21/027 | (2006.01) | HO 1 L | 21/30 5 0 2 Z |
| GO 3 F | 1/70 | (2012.01) | HO 1 L | 21/30 5 1 4 A |
| GO 6 F | 17/50 | (2006.01) | GO 3 F | 1/70 |
| | | | GO 6 F | 17/50 6 5 8 M |

請求項の数 14 外国語出願 (全 31 頁)

| | | | |
|--------------|-------------------------------|-----------|-----------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2012-74557 (P2012-74557) | (73) 特許権者 | 504151804 |
| (22) 出願日 | 平成24年3月28日 (2012.3.28) | | エーエスエムエル ネザーランズ ビー. |
| (65) 公開番号 | 特開2012-220955 (P2012-220955A) | | ブイ. |
| (43) 公開日 | 平成24年11月12日 (2012.11.12) | | オランダ国 ヴェルトホーフエン 550 |
| 審査請求日 | 平成24年3月28日 (2012.3.28) | | 4 ディー アール, デ ラン 6501 |
| (31) 優先権主張番号 | 61/471, 652 | (74) 代理人 | 100079108 |
| (32) 優先日 | 平成23年4月4日 (2011.4.4) | | 弁理士 稲葉 良幸 |
| (33) 優先権主張国 | 米国 (US) | (74) 代理人 | 100109346 |
| | | | 弁理士 大貫 敏史 |
| | | (72) 発明者 | チェン, ルオキ |
| | | | アメリカ合衆国, カリフォルニア州 95 |
| | | | 070, サラトガ, ノーサンプトン ドラ |
| | | | イブ 19750 |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 リソグラフィプロセスを最適化する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

リソグラフィプロセスにより基板上に結像されるパターンを複数のサブパターンに分割する分割ステップであって、前記サブパターンのうちの少なくとも一つと、前記リソグラフィプロセスに使用されるリソグラフィ装置の光学設定との間の所望の共最適化の結果を達成するように前記パターンを前記複数のサブパターンに分割する分割ステップを含む、リソグラフィプロセスを最適化する方法。

【請求項 2】

前記分割ステップは、ルールベース分割、アルゴリズムベース分割、又はルールベース分割とアルゴリズムベース分割との組合せを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記分割ステップは、所望の結像結果が得られるように、回折シグネチャ解析を使用して、一組の可能なサブパターンから前記複数のサブパターンを選択し、前記パターンは前記一組の可能なサブパターンに分割されることが可能である、請求項 1 又は 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記分割ステップは、所望の結像結果が得られるように、空間ドメインにおける 2 次元パターンクラスタ化を使用して、一組の可能なサブパターンから前記複数のサブパターンを選択し、前記パターンは前記一組の可能なサブパターンに分割されることが可能である、請求項 1 又は 2 に記載の方法。

【請求項 5】

前記分割ステップは、所望の結像結果が得られるように、前記パターンの周波数情報と局所空間情報のうちの1つ又は両方を使用して、一組の可能なサブパターンから前記複数のサブパターンを選択し、前記パターンは前記一組の可能なサブパターンに分割されることが可能である、請求項 1 又は 2 に記載の方法。

【請求項 6】

前記サブパターンは、前記基板の単一層上で組み合わされる間に、前記基板上に順次結像される、請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 7】

前記所望の結像結果は、前記選択された複数のサブパターンに対して事前定義されたプロセスウィンドウに関連付けられる、請求項 3 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の方法。

10

【請求項 8】

前記リソグラフィ装置の前記光学設定は、照明光源の設定及び特徴、投影光学システムの設定及び特徴、並びに、照明光源と投影光学システムとの設定及び特徴の組合せ、のうちの1つ又は複数を含む、請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 9】

設計レイアウトの全体を表すことができる大きなセットから、前記パターンを含む設計レイアウトの一部の代表的な小さなセットを選択するために、パターン選択方法が使用され、前記代表的な小さなセットは、前記共最適化が促進されるように、前記大きなセットのうちの特徴的パターンフィーチャを十分にカバーする、請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の方法。

20

【請求項 10】

共最適化の少なくとも1回の反復サイクルに続く検証プロセス時にホットスポットが識別される、請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 11】

前記識別されたホットスポットは、設計レイアウトの全体を表すことができる大きなセットから前記パターンを含む設計レイアウトの一部の代表的な小さなセットを選択するパターン選択アルゴリズムにフィードバックされ、前記代表的な小さなセットは、前記共最適化が促進されるように、前記大きなセットのうちの特徴的パターンフィーチャを十分にカバーする、請求項 10 に記載の方法。

30

【請求項 12】

前記複数のサブパターンのそれぞれが前記リソグラフィ装置の解像限界内にあるように構成されたフィーチャを含むように、前記パターンを分割するためのルールを生成するために、既知の光学設定が使用される、請求項 1 ~ 11 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 13】

前記共最適化の結果として光学設定が画定された後に、前記サブパターンをさらに最適化するために、光近接効果補正 (OPC) が実行される、請求項 1 ~ 12 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 14】

計算リソグラフィモデルを較正するためのテストパターンをコンピュータに選択させるためのコンピュータ実行可能命令を有するコンピュータプログラムであって、前記命令は前記コンピュータに請求項 1 ~ 13 のいずれか 1 項の方法を実行させる、コンピュータプログラム。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

[0001] 本発明の技術分野は、一般に、リソグラフィプロセスのシミュレーションに関し、より詳細には、より良好な結像性能を達成するためにシミュレーションを通してリソグラフィ装置及び設計レイアウトの特徴を最適化することに関する。

【背景技術】

50

【 0 0 0 2 】

[0002] リソグラフィ装置は、例えば、集積回路（ＩＣ）の製造で使用することができる。その場合、マスクは、ＩＣの個々の層に対応する回路パターンを含むことができ、このパターンを放射感応性材料（レジスト）の層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）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プと呼ばれる。一般にステップアンドスキャン装置と呼ばれる別の装置では、各ターゲット部分は、投影ビームの下でマスクパター

10

【 0 0 0 3 】

[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）の層で少なくとも部分的に覆われた基板の上にマスクパターンが結像される。この結像ステップを行う前に、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処理を基板に対して行うことができる。露光後、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／検査などの他の処理を実行することができる。この一連の処理は、例えば、ＩＣのようなデバイスの個々の層にパターン形成する基準として使用される。次に、そのようなパターン形成された層に対して、個々の層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処理を行うことができる。幾つかの層が必要な場合、処理全体、又はその変形処理を新しい層ごとに繰り返す必要がある。最終的に、デバイスのアレイが基板（ウェーハ）上に形成される。次に、これらのデバイスは、ダイシング又はソーイングなどの技術によって互いに分離され、それにより個々のデバイスをキャリア上に装着することもできるし、ピンなどに接続することもできる。

20

【 0 0 0 4 】

[0004] 便宜上、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種々のタイプの投影システムを含むものと広義に解釈されるべきである。放射システムは、また、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る。このようなコンポーネントも、以下において集合的に又は単独で「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）を有するタイプのものであってもよい。このような「マルチステージ」デバイスでは、追加のテーブルを、並列に使用することもでき、又は、１つ又は複数の他のテーブルを露光に使用している間に、１つ又は複数のテーブル上で準備ステップを実行することもできる。

30

【 0 0 0 5 】

[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。このようなマスクを作成するのに使用するパターンは、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設計ルールに従う。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、設計ルールは、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作用しないようにする。設計ルールの限界は、「クリティカルディメンション」（ＣＤ）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

40

50

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。もちろん、集積回路の製作の目標の1つは、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。

【0006】

[0006] 上述のように、マイクロリソグラフィは半導体集積回路の製造における中心ステップであり、半導体ウェーハ基板上に形成されるパターンは、マイクロプロセッサ、メモリチップなどの半導体デバイスの機能要素を定義する。同様のリソグラフィ技術が、フラットパネルディスプレイ、微小電気機械システム（MEMS）、及び他のデバイスの形成にも使用される。

【0007】

[0007] 半導体製造プロセスが進化し続ける一方で、回路素子の寸法は絶えず低減し、その間、デバイス当たりのトランジスタなどの機能素子の数は、一般に「ムーアの法則」と呼ばれる傾向に従って数十年間にわたって着実に増加しつつある。現行の技術では、先端デバイスのクリティカルレイヤが、深紫外線レーザ光源の照明を用いて基板上にマスク画像を投影して100nmをはるかに下回る、すなわち、投影光の波長の半分に満たない寸法を有する個別の回路フィーチャを作成するスキャナとして既知の光リソグラフィ投影システムを用いて製造される。

【0008】

[0008] 光投影システムの伝統的な解像限界よりも小さい寸法を有するフィーチャが印刷されるこのプロセスは、一般に解像度の式、 $CD = k_1 \times \lambda / NA$ による低 k_1 (low- k_1) リソグラフィとして公知である。この式で、 λ は使用する放射の波長（現在ほとんどの場合、248nm又は193nm）、NAは投影光学系の開口数、CDは「クリティカルディメンション」、すなわち通常、印刷される最小のフィーチャサイズ、及び k_1 は経験的解像度係数である。通常、 k_1 が小さいほど、特定の電氣的機能と性能を達成するために回路設計者が計画する形状と寸法に似たパターンをウェーハ上に再現することは困難になる。これらの困難を克服するために、投影システムだけでなくマスク設計にも高度の微調整ステップが適用される。これらは、例えば、NA及び光コヒーレンス設定の最適化、カスタム化された照明方法、移相マスクの使用、マスクレイアウト内の光近接効果補正、又は、一般に「解像度向上技術」（Resolution Enhancement Techniques: RET）と呼ばれるその他の方法を含むが、これらに限定されない。

【0009】

[0009] 重要な一例として、光近接効果補正（Optical Proximity Correction: OPC、時には「光学及びプロセス補正」'optical and process correction'とも呼ばれる）は、ウェーハ上に印刷されるフィーチャの最終寸法及び配置が、単にマスク上の対応するフィーチャの寸法及び配置に応じるものでないという事実に対処する。「マスク」及び「レチクル」という用語は、本明細書では互換的に使用されることに留意されたい。典型的な回路設計上でフィーチャ寸法が小さくフィーチャ密度が高い場合、所与のフィーチャの特定のエッジの位置は、ある程度、他の隣接するフィーチャの有無による影響を受ける。このような近接効果は、フィーチャ間で結合される微量の光から生じるものである。同様に、近接効果は、露光後バーク（PEB）、レジスト現像、及び通常リソグラフィ露光後のエッチング時の拡散及び他の化学的影響から生じる場合がある。

【0010】

[0010] フィーチャが所与のターゲット回路設計の要件に従って半導体基板上に確実に生成されるようにするために、高度な数値モデルを使用して近接効果を予測する必要がある。補正又はプリディストーションをマスクの設計に適用する必要がある。その後、高性能なデバイスの良好な製造が可能になる。典型的な高性能設計では、ターゲット設計に十分近づいたプリントパターンを達成するために、ほぼすべてのフィーチャエッジが何らかの修正を必要とする。これらの修正は、エッジ位置又はライン幅のシフト又はバイアス、及びそれら自体を印刷することを意図しないが、関連付けられた主フィーチャの特性に影響を与えることのない「アシスト」フィーチャの適用を含んでもよい。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 1 】

[0011] ダブルパターンング (DP) リソグラフィは、特に、「フィーチャの密集した」レイアウト('feature-dense' layout)において、クリティカル/非クリティカルフィーチャのプリント品質を向上させるために、NAのさらなる向上がもはや実現可能なオプションではない場合、リソグラフィ露光装置の解像限界を有効に克服するための方法の1つである。一般に、ダブルパターンングリソグラフィにおいて、個々のフィーチャCD及び/又はフィーチャ間ピッチがリソグラフィ装置の解像限界以下の密集パターンは、各部分が独立して、パターン印刷時に克服する解像関連の問題がないように、2つの部分に分けられる(このプロセスは「カラリング」('coloring')と呼ばれる)。この部分は、パターン全体を再生するために、第1のリソグラフィ内に印刷されるフィーチャと第2のリソグラフィ内に印刷されるフィーチャとを点在させて、順次パターン形成される。

10

【 0 0 1 2 】

[0012] 特にフルチップダブルパターンングの場合、既存の分割フレームワークは、ルールベース分割アルゴリズムを使用してもよく、その後、ステッチング及び/又はOPC(光近接効果補正)が続く。ルールベース分割アルゴリズムは、結像システム制限による一組のルールに基づいて、設計レイアウトを2つのサブレイアウトに分割する。次に、ステッチング及び/又はOPCアルゴリズムが各サブレイアウトに独立に適用される。

【 0 0 1 3 】

[0013] ソースマスク最適化(Source Mask Optimization: SMO)は、所与の設計レイアウトに対するより良好な解像及び/又はプロセスウィンドウ(Process Window: PW)を達成するために、ソース及びマスク(すなわち設計レイアウト)を同時に最適化するためのプロセスである。ソースに対してマスクの設計レイアウトが最適化された場合、SMOの総ランタイムの削減が達成できる。一般に、計算のコスト及び時間を低減させるためにクリティカルな設計パターンのセットは、ユーザによって提供されるか、又はインテリジェントアルゴリズムによって自動的に選択される。SMOは、最適化されたソースを得るために、選択されたクリティカルな設計パターンセット上でのみ実行される。次に、オプションとしてフルチップマスク最適化(Full chip Mask Optimization: FMO)を使用して、最適化されたソースが与えられたフルチップ設計レイアウトを最適化する。また、選択されたクリティカル設計パターンセットにホットスポットを追加するためのリソグラフィ製造性チェック(Lithography Manufacturability Check: LMC)をオプションとして実行してもよい。

20

30

【 0 0 1 4 】

[0014] これまでのところ、計算上より効率の良い方法でさらに良好な結像性能を達成するために、SMOとDPとは統合されていない。したがって、統一プロセスフローにおいてSMOとDPとを統合することが求められている。さらに、リソグラフィ装置における投影光学などの他の光学特徴に対して設計レイアウトを共最適化(co-optimize)することが求められている。

【 発明の概要 】

【 0 0 1 5 】

[0015] 本発明は、多重パターンングリソグラフィ及び他のリソグラフィ用途例との関連において、とりわけ上記要件に対処するデバイス特徴最適化の分野における幾つかのイノベーションを提供する。

40

【 0 0 1 6 】

[0016] 本発明の実施形態では、リソグラフィプロセスにより基板上に結像されるパターンを複数のサブパターンに分割する方法が開示され、この方法は、このサブパターンのうちの少なくとも1つと、リソグラフィプロセスに使用されるリソグラフィ装置の光学設定との間の共最適化の要件を認識するように構成された分割ステップを含む。

【 0 0 1 7 】

[0017] 本発明の他の実施形態では、比較的大きなセットから、パターンを含む設計レイアウト部分の代表的なより小さなセットを選択するために、パターン選択方法が使用され

50

、代表的なより小さなセットは、共最適化プロセスが迅速に処理されるように、比較的大きなセットのうちの特徴的パターンフィーチャを十分にカバーする。

【0018】

[0018] 以下の図面及び詳細な説明に鑑みて、当業者であれば、上記の方法に対応するシステム及びコンピュータプログラム製品を含む本発明のこれら及び他の態様は明らかであろう。

【図面の簡単な説明】

【0019】

[0019] 当業者であれば、添付の図面と共に本発明の特定の実施形態に関する以下の説明を読めば、本発明の上記及び他の態様及び特徴を理解することができるだろう。

【図1】[0020] 本発明の例示的实施態様によるリソグラフィシステムの様々なサブシステムを示すブロック図である。

【図2】[0021] 図1のサブシステムに対応するシミュレーションモデルを示すブロック図である。

【図3A】[0022] 従来のダブルパターニングリソグラフィプロセスフローを示す流れ図である。

【図3B】[0023] 本発明の実施形態による、ダブルパターニング及びSMOの単方向統合を示す流れ図である。

【図4】[0024] 本発明の実施形態による、SMOにおけるインテリジェントパターン選択の統合を示す。

【図5】[0025] 本発明の様々な態様を統合する例示的方法を示すフローチャートである。

【図6】[0026] 本発明の例示的实施態様による、設計レイアウト分割、パターン選択、及びデバイス最適化の統合を示す。

【図7】[0027] 本発明の実施形態による、パターン選択の例示的方法を示すフローチャートである。

【図8】[0028] 本発明の実施形態による、最適化されたソースに関するダブルパターニング分割アルゴリズムを示す例示的流れ図である。

【図9】[0029] 内部に本発明の実施形態を実施できる例示的コンピュータシステムを示すブロック図である。

【図10】[0030] 本発明の実施形態を適用できるリソグラフィ投影装置を示す概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

[0031] 当業者が本発明を実践することができるように、本発明の例示的な例として提供される図面を参照して以下に本発明を詳述する。特に、以下の図及び例は本発明の範囲を1つの実施形態に限定するものではなく、下記又は図示の要素の一部又は全部を入れ替えることで別の実施形態も可能である。さらに、既知のコンポーネントを用いて本発明の特定の要素を部分的に又は完全に実施することができる場合、本発明を分かりにくくしないように、本発明の理解に必要な既知のコンポーネントのそれらの部分のみを説明し、それら既知のコンポーネントのその他の部分の詳細な説明は省略する。ソフトウェアで実施される実施形態はそれに限定されてはならず、特に断りのない限り、当業者には明らかなるように、ハードウェア、又はソフトウェアとハードウェアとの組合せで実施される実施形態を含むことができ、またその逆の場合も同様である。本明細書では、単一のコンポーネントを示す実施形態は限定的と考えてはならず、特に本明細書で断りのない限り、複数の同じコンポーネントを含む別の実施形態を包含し、またその逆の場合も同様である。さらに、特に断りのない限り、出願人は明細書又は特許請求の範囲のいかなる用語にも一般的でない又は特殊な意味を与えることはない。さらに、本発明は、本明細書の図で参照する既知のコンポーネントの現在及び将来の既知の同等物を包含する。

【0021】

A . 本発明の例示的实施形態を実施するリソグラフィシステムの通常的环境

[0032] 本発明を説明する前に、設計全体及び結像プロセスについて簡潔に説明する。図1は、例示的リソグラフィ投影装置10を示す。主要なコンポーネントは、深紫外線エキシマレーザ放射源などの光源12と、部分的なコヒーレンスを定義し、また特定の光源整形光学系14、16a及び16bを含んでいてもよい照明光学系と、マスク又はレチクル18と、ウェーハ面22上にレチクルパターンの画像を生成する投影光学系16cである。瞳面の調整式フィルタ又はアパーチャ20はウェーハ面22に当たるビーム角度の範囲を制限することができ、可能な最大角度は投影光学系の開口数 $NA = \sin(\theta_{max})$ を定義する。

【0022】

[0033] リソグラフィシステムでは、これらの主要システムコンポーネントを例えば図2に示すように別々の機能モジュールによって記述することができる。図2を参照すると、機能モジュールは、ターゲット設計を定義する設計レイアウトモジュール26と、結像プロセスで使用するマスクを定義するマスクレイアウトモジュール28と、シミュレーションプロセス中に使用するマスクレイアウトのモデルを定義するマスクモデルモジュール30と、リソグラフィシステムの光学コンポーネントの性能を定義する光学モデルモジュール32と、所与のプロセスで使用されているレジストの性能を定義するレジストモデルモジュール34とを含む。公知のように、シミュレーションプロセスの結果は、例えば、結果モジュール36内に予測輪郭及びCDを生成する。

【0023】

[0034] より詳細には、照明及び投影光学系の特性が、NA-シグマ()設定と、任意の特定の照明源の形状((又はシグマ)はイルミネータの外側半径範囲である)とを含む光学モデル32内で捕捉されるが、これらに限定されないことに留意されたい。基板上にコーティングされたフォトリソ層の光学特性、すなわち、屈折率、膜厚、伝搬及び偏光効果も光学モデル32の一部として捕捉できる。マスクモデル30は、レチクルの設計フィーチャを捕捉し、マスクの詳細な物理特性の表現を含むこともできる。最後に、レジストモデル34は、例えば、基板ウェーハ上に形成されるレジストフィーチャの輪郭を予測するために、露光、PEB及び現像中に生起する化学プロセスの影響を説明する。シミュレーションの目的は、例えばエッジの配置及びCDを正確に予測することであり、その後これをターゲット設計と比較することができる。ターゲット設計は、一般にプレOPCマスクレイアウトとして定義され、GDSII又はOASISなどの標準化されたデジタルファイル形式で提供される。当業者であれば、入力ファイル形式が不適切であることが理解されよう。

【0024】

B . 本発明の例示的方法

[0035] 概要の項で述べたように、本明細書では、リソグラフィプロセスにより基板上に結像されるパターンを複数のサブパターンに分割する方法が開示されている。この方法は、サブパターンのうちの少なくとも1つと、リソグラフィプロセスに使用されるリソグラフィ装置の光学設定との間の共最適化の要件を「認識」(“aware”)するように構成された分割ステップを含む。分割ステップは、共最適化後の画像品質を予測するように構成される。画像品質は、サブパターンの互換性を解析することによって予測することができる。例えば、まとめると最適に結像できない幾つかのパターンは、別の分割レイアウトに対処する必要がある。サブパターンは、通常、基板の単一層上で組み合わせられる間に基板上に順次結合される。

【0025】

[0036] リソグラフィ装置の光学設定は、照明光源の設定及び特徴、投影光学システムの設定及び特徴、及び照明光源と投影光学システムとの設定及び特徴の組合せのうちの1つ又は複数を含むことができる。照明光源特徴の非限定的な例としては、レーザ波長、レーザ帯域幅、ソース強度プロファイル、ソース偏光などがある。同様に、投影光学特徴の非限定的な例としては、開口数(NA)、アポダイゼーション、収差/波面変調、レンズ加

10

20

30

40

50

熱、複屈折性、分散、フレアなどがある。

【 0 0 2 6 】

[0037] 分割ステップは、ルールベース分割、アルゴリズムベース分割、又はルールベース分割とアルゴリズムベース分割との組合せを含むことができる。分割及び共最適化は、順次、並行して、交互に、又は反復的に実行してもよい。

【 0 0 2 7 】

[0038] 共最適化認識分割ステップは、所望の結像結果が得られるように、回折シグネチャ解析を使用して、パターンをこれに分割できる一組の可能なサブパターンから複数のサブパターンを選択できる。これは通常、周波数ドメイン(frequency domain)内で実行される。

10

【 0 0 2 8 】

[0039] 回折シグネチャ解析は、複数のサブパターンを選択するための唯一の方法ではない。例えば代替実施形態では、共最適化認識分割ステップは、所望の結像結果が得られるように、空間ドメイン(spatial domain)における2次元パターンクラスタ化を使用して、パターンをこれに分割できる一組の可能なサブパターンから複数のサブパターンを選択できる。空間ドメインにおける2次元パターンクラスタ化は、(典型的な回折シグネチャ解析で使用される周波数ドメイン特徴とは対照的に)空間ドメイン特徴を使用して類似性に基づくグループ化1D/2Dパターンを示す。1つの例は、ピッチ及び幅の情報を使用してライン/スペース(L/S)パターンをグループ化することである。他の例は、パターンの局部形状を使用して、これをピッチパターン又は行端又はスロット端又はZ形状として分類する。その後、これらの分類を使用して分割を実行することができる。例えば、L/Sパターンの場合、分割はある一定のピッチ範囲に対して等しく実行されるか、又は他のピッチ範囲内のパターンをすべて特定層にクラスタ化することができる。これらの例は、本発明の範囲を限定するものではない。

20

【 0 0 2 9 】

[0040] さらに他の代替実施形態では、共最適化認識分割ステップは、所望の結像結果が得られるように、パターンの周波数情報と局所空間情報のうちの1つ又は両方を使用して、パターンをこれに分割できる一組の可能なサブパターンから複数のサブパターンを選択できる。例えば、第1の局所空間特徴を使用してパターンを粗いカテゴリに分類した後、各カテゴリ内で回折シグネチャ解析(周波数ドメイン情報を使用する)を実行することができる。当業者であれば、すなわち、第1の周波数ドメイン情報が粗いカテゴリ分類に使用された後、分割方法を微調整するために空間ドメイン解析が使用されるように、逆転も使用できることを理解されよう。

30

【 0 0 3 0 】

[0041] 図3Aは、従来のフルチップダブルパターニングのリソグラフィシミュレーションプロセスフロー300を示し、ここで、図3Bで説明されるプロセスフロー310とは対照的に、ダブルパターニングの分割アルゴリズムは、必ずしもいずれのデバイス/マスク最適化に対処しなくてもよい。本明細書で説明されるほとんどの例では、ターゲットパターンレイアウトは2つのサブレイアウトにのみ分解されるが、本発明の範囲はサブレイアウトの数によって制限されるものでないことに留意されたい。したがって、「ダブルパターニング」という用語は、2つより多くのサブレイアウトが含まれる多重パターニング方法も包含する。また、このプロセスフロー図では、灰色のブロックは方法/アルゴリズムの適用を示し、クリアなブロックは方法/アルゴリズムの入力/出力を示す。また「レイアウト」及び「サブレイアウト」という用語は、当該パターンを含むパターンのより大きな構成からの当該特定のパターンの構成を意味することができる。複数のサブレイアウトは、(フルチップサブレイアウトなどの)より大きなサブレイアウトを再構築するために適切な構成で組み合わせてもよく、これは(フルチップ設計レイアウトなどの)より大きな設計レイアウトの分割の1つである。

40

【 0 0 3 1 】

[0042] フロー300では、従来の分割アルゴリズム42を適用することによって、設計

50

レイアウト40が2つのサブレイアウト44及び46に分割される。ステッチング/OPCアルゴリズム48及び50は、それぞれサブレイアウト44及び46のそれぞれに独立に適用される。次に、実際の物理レチクルを製造するために、設計の先行として、OPC後の設計サブレイアウト52及び54が生成される。

【0032】

[0043] 図3Bは、本発明による一実施形態を示し、ここでSMOは、単方向でDPリソグラフィシミュレーションプロセスフロー310に統合され、すなわち、DP分割アルゴリズム及びSMOの両方が連続するプロセスフローの一部である。DP分割アルゴリズム42は、必ずしもSMOプロセスに基づいて動的に修正されない。ブロック56及び58では、従来のステッチング/OPCアルゴリズムの代わりに、ステッチング/SMOアルゴリズムがサブレイアウト44及び46に適用される。次に、実際の物理レチクルを製造するために、設計の先行として、SMO後の設計サブレイアウト60及び62が生成される。サブレイアウト60及び62は、それらに関連付けられたそれぞれの最適化されたソースも有する。図3Bには具体的に示されていないが、SMO調整後であっても、サブレイアウトに対して他のOPCを実行してもよい。

10

【0033】

[0044] 上述のように、ソースマスク最適化(Source Mask Optimization: SMO)は、適用されるリソグラフィプロセスに応じてサブレイアウトに分割される場合とされない場合がある所与の設計レイアウトに関するより良好な解像及び/又は処理ウィンドウ(Process Window: PW)を達成するために、ソース及びマスク(すなわち設計レイアウト)を同時に最適化するためのプロセスである。同様に、レンズマスク最適化(Lens Mask Optimization: LMO)は、レンズ及びマスク(すなわち設計レイアウト)を同時に最適化するためのプロセスである。ここで「レンズ」という用語は、照明光源からウェーハへと、光を伝送、整形、及び誘導するすべての光学コンポーネントを広義に包含する。「レンズ」は、投影光学コンポーネントを含む。例示的实施形態では、ほとんどのSMOは例示的目的で説明されるが、本発明の範囲は、DPとSMO、LMO、さらにはSMLO(組み合わせられたソースマスクレンズ最適化)との統合を包含する。本発明の主な目的は、リソグラフィ装置の結像性能をシミュレートするための、統一プロセスフローにおけるDPとSMO/LMO/SMLOの統合である。インテリジェントパターン選択は、SMO/LMO/SMLOプロセスの効率を上げる。DP分割アルゴリズムは、以下で説明するように、インテリジェントパターン選択に対処する。

20

30

【0034】

[0045] 通常、SMO/LMO/SMLO方法は、最適化プロセスで使用されるフルセットのクリップからクリティカルな設計パターンの小さなセットをインテリジェントに選択することによって、計算コストを削減しながら、フルチップパターンカバレッジを達成することを目的とする。SMO/LMO/SMLOは、最適化されたソース及び/又はレンズを得るために、これらの選択されたパターンでのみ実行される。次に、最適化されたソース及び/又はレンズを使用して、フルチップに対して(例えばOPC及びLMCを使用して)マスクが最適化され、その結果が比較される。結果が従来のフルチップSMO/LMO/SMLOに匹敵する場合、プロセスは終了し、匹敵しない場合、様々な方法が反復して提供されるか、又は他の方法で良好な結果に収束する。

40

【0035】

[0046] 本発明の実施形態は、ターゲットパターンのより大きなセットからのターゲットパターンのより小さな代表セットの選択を使用し、ターゲットパターンの代表セットは、フル設計レイアウトの少なくともすべてのクリティカルフィーチャを十分に表す。2010年10月28日付出願の「Selection of Optimum Patterns in a Design Layout Based on Diffraction signature Analysis」と題する、Liu他による同時係属の同一所有の特許出願第12/914954号は、ソース及びマスクの両方の構成に適用できる回折ベースのパターングループ化及び最適化の方法を提供する。この第12/914954号出願は、その全文を参照により本明細書に組み込むものとする。ターゲットパターンのより大きなセッ

50

トは、マスクの設計レイアウト全体、又は設計レイアウトのかなり大きな部分を含むことができる。本発明の実施形態は、特にSMO/LMO/SMLに好適であるが、当業者であれば、パターン選択アルゴリズムが、設計レイアウトからインテリジェントに選択された設計レイアウトのより小さなセットによって、より大きな設計レイアウトを十分に表すことが必要ないずれの状況にも汎用的に適用できることが理解されよう。

【0036】

[0047] ターゲットパターンの代表セットは、手動で選択されたユーザ選択クリップ、及び/又は自動的に選択されたパターン選択アルゴリズム選択クリップを含むことができる。例えば、通常は最高（又はほぼ最高）密度のライン/スペースフィーチャで知られるクリップであるアンカークリップを、常に代表セットの一部となるようにユーザによって手動で選択することができる。アンカークリップは、既知の特定の重要性を持つフィーチャを含むこともできる。

10

【0037】

[0048] ターゲットパターンの代表セットを使用して、リソグラフィプロセスで使用される照明光源を最適化することができる。照明光源の最適化は、マスク上での放射線ビーム入射の偏光分散を調整することを含むことができる。ターゲットパターンの代表セットを使用して、リソグラフィプロセスで使用される投影光学システムを最適化することもできる（上述のように、「レンズ」という用語は、投影光学システムを包含する）。投影光学システムの最適化は、放射線ビームがマスクを通過した後に、瞳面（又は任意の他の選択された面）内の放射線ビームの波面を操作することを含むことができる。設計レイアウト及び光学特徴（すなわち照明光源及び/又は投影光学特徴）の共最適化は、本発明の範囲に包含される。

20

【0038】

[0049] リソグラフィプロセスが最適化されるターゲット設計レイアウト（通常は、OASIS、GDSIIなどの標準デジタル形式でのレイアウトを含む）は、メモリ、テストパターン、論理回路などを含むことができる。この設計レイアウトからターゲットパターンの初期のより大きなセット（クリップ）が識別される。本発明の特定実施形態では、設計レイアウト内のすべての複雑なパターンを表すクリップのフルセットが抽出される（通常は約50から1000クリップであるが、任意数のクリップを使用してもよい）。当業者であれば理解されるように、これらのパターン又はクリップは、設計の小さな部分（すなわち回路、セル、又はパターン）を表し、特にクリップは、特定の注意及び/又は検証が必要な小さな部分を表す。

30

【0039】

[0050] クリップの初期のより大きなセットは、特定の画像最適化を必要とする設計レイアウト内の既知のクリティカルフィーチャ領域に基づいて、事前に顧客によって提供することができる。あるいは、本発明の他の実施形態では、クリティカルフィーチャ領域を識別する何らかの種類の自動（マシンビジョンなど）又は手動のアルゴリズムを使用することによって、クリップの初期のより大きなセットを設計レイアウト全体から抽出することができる。

【0040】

[0051] パターンのより大きなセットは、例えばゲート又は論理パターンなどの異なるパターンタイプを備えるか、又は例えば特定の配向を有するパターンを備えることができる。例えば、パターンのより大きなセットは、例えば、ピッチを通して交互に配置された、ピッチを通して1D/2Dのような設計ルールに準拠した特定のテスト構造、一般に使用される設計構造又はプリミティブ（例えばエルボ、T型、H型）、メモリセルなどの繰り返し使用されるレイアウト構造（例えばレンガ壁）、メモリ周辺構造（例えばメモリセルに対するフック）、及び以前の生成からの既知の結像問題を有するパターンなどのリソグラフィ処理時に特定の注意及び/又は検証を必要とする特定のレベルの複雑さ又はパターンを備えるパターンも備えることができる。例えば、パターンのより大きなセットは、事前定義されたプロセスウィンドウ性能を有するパターンをさらに備えるか、又は例えば、

40

50

パターンのプロセスパラメータの変動に対して敏感なパターンを備えることもできる。

【 0 0 4 1 】

[0052] パターン又はクリップの小さなサブセット（例えば15から50のクリップであるが、任意の数を使用できる）は、クリップの初期のより大きなセットから選択される。パターン又はクリップのサブセットの選択は、好ましくは、選択されたパターンのプロセスウィンドウが、クリティカルなパターンのより大きなセットに関するプロセスウィンドウとできる限り緊密に合致するように実行される。選択の有効性は、組み合わせられたパターン選択及び後続のSMO/LMO/SMLOプロセスにおける合計所要時間又は実行時間の削減によっても測定される。

【 0 0 4 2 】

[0053] 同時係属の第'954号出願に開示されるように、本発明の例示的な態様では、設計レイアウトからのターゲットパターンのサブセット選択の回折ベース方法が開示され、この方法は、設計レイアウトからのターゲットパターンの初期のより大きなセットから複数のターゲットパターンそれぞれについてそれぞれの回折マップを生成するステップと、ターゲットパターンの初期のより大きなセットから、複数のターゲットパターンの様々な回折マップからの回折シグネチャを識別するステップと、ターゲットパターンの初期のより大きなセットからの複数のターゲットパターンを回折-シグネチャグループにグループ化するステップであって、特定の回折シグネチャグループ内のターゲットパターンは同様の回折シグネチャを有するステップと、ターゲットパターンのサブセットがリソグラフィプロセスに関する設計レイアウトの少なくとも一部を表すように、回折-シグネチャグループの事前定義された部分をカバーするためにターゲットパターンのサブセットを選択するステップとを含む。複数のターゲットパターンのグループ化は、回折シグネチャの類似性に基づく事前定義されたルールによって管理することができる。事前定義されたルールは、様々な回折-シグネチャグループ間に存在するカバレッジ関係を含む。

【 0 0 4 3 】

[0054] 特定の回折ベースパターン選択の例では、設計レイアウトにおけるターゲットパターンの代表セットを選択する方法が開示され、この方法は、設計レイアウト内のターゲットパターンの初期のより大きなセットのそれぞれに関するそれぞれの回折マップを生成するステップと、回折マップのそれぞれにおけるピークを識別するステップと、識別されたピークの1つ又は複数の特徴パラメータを回折マップのそれぞれに格納するステップと、回折-シグネチャグループのリストを作成するために識別されたピークの格納された特徴パラメータを解析するステップであって、各回折-シグネチャグループは1つ又は複数のそれぞれの基底ベクトルを有するステップと、ターゲットパターンの初期のより大きなセットの様々な回折マップから様々な回折-シグネチャグループ間に存在するカバレッジ関係を検査するステップであって、カバレッジ関係は事前定義されたルールによって管理されるステップと、その回折-シグネチャグループがすべての回折マップからのすべての可能な回折-シグネチャグループをカバーするターゲットパターンの最終サブセットを識別するステップと、ターゲットパターンの代表セットに含まれるターゲットパターンの最終サブセットを選択するステップであって、ターゲットパターンの最終サブセットはリソグラフィプロセスに関する設計レイアウトの少なくとも一部を表すステップとを含む。

【 0 0 4 4 】

[0055] 図4は、通常、インテリジェントパターン選択がフルチップSMOプロセスフロー400内でどのように対処されるかの一例を示す。ここで、設計レイアウト40は、図3A~図3Bに示されるようにサブレイアウトに分割されないが、当業者であれば、本出願の教示が好適に適用された場合、従来のプロセスフロー400が多重パターンニングリソグラフィに対して修正できることに留意されたい。

【 0 0 4 5 】

[0056] 図4では、ブロック65は、設計レイアウト40、又は上述のようなターゲットパターンのより大きなセットでのパターン選択方法の適用を示す。結果として、ターゲットパターン70の代表セット（「設計レイアウトの一部」とも呼ばれる）が識別される。

10

20

30

40

50

セット70は、ブロック72に示されるSMOプロセスの基本である。ブロック72のSMO方法の結果として、最適化されたソース74が得られる。最適化されたソース74に基づき、ブロック78に示されるように、フルチップ最適化(FMO)プロセスが実行される。結果として生じるフルチップマスク又は設計レイアウト80が得られる。フルチップカバレッジを確保するため、及び製造に関する設計を確保するためにも、反復フレームワークを採用することができる。ブロック76のLMCプロセスは、最適化されたソース情報及びマスク情報を入力として採用し、ホットスポット(hot spots)又はウォームスポット(warm spots)が設計レイアウト40内に維持されるかを検証する。ホットスポット/ウォームスポット67が識別された場合、それらはパターンの代表セットに含まれ、オプションとして、ブロック65の方法/アルゴリズムは、ソース及び設計レイアウトをさらに良好に最適化するために再度実行される。

10

【0046】

[0057] 図3A、図3B、及び図4の上記フローに対する問題の1つは、DP分割アルゴリズム及び/又はパターン選択アルゴリズムにおけるソース知識(又はリソグラフィ装置の他の光学特徴に関する知識)の欠如である。ここでは、非限定的例示のためにSMOのみが説明されている。

【0047】

[0058] 経験から、SMOプロセスは、実質上、DP分割プロセスから結果として生じるサブレイアウトに依存していることがわかっている。DP分割ステップでは、ターゲットパターンは幾つかの可能な分割選択肢を有することができる。異なる分割選択肢に対して異なる最適なソース構成が必要である場合、SMOプロセス全体が非効率的となる。受け入れ可能な大域的最適解を達成するために、DP分割は、好ましくは、最適(又は望ましい)SMO結果を達成する解を選択するべきである。他の欠点は、各分割サブレイアウトに関するステッチング/OPC/SMOプロセスが、図3A、図3B、及び図4に示された実施形態における他のサブレイアウトとは無関係であるという点である。したがって、DP分割ステップで決定されたカットライン位置を調節するための柔軟性は、まったく、又はほとんどない。したがって、図5及び図6に示されるように、結像性能のシミュレーションにおける柔軟性を向上させるためには、DP分割及びSMOアルゴリズムをより緊密に統合することが有利な場合がある。

20

【0048】

[0059] 図5は、統合されたDP-SMOパターン選択プロセスの例示的な一実施形態について説明する。

30

【0049】

[0060] ステップS502で、設計レイアウト(又はクリップのより大きなセット)が得られる。

【0050】

[0061] ステップS504で、回折シグネチャ解析ベースアルゴリズム(DPパターン選択アルゴリズムと呼ばれる)を使用して、クリップの代表的なより小さなセット(又は設計レイアウトの一部)を選択し、同時にそれらを2つのサブレイアウトに分割する。

【0051】

[0062] ステップS506で、組み合わせられたDP-SMOアルゴリズムが、分割されたサブレイアウト及びソースを同時に最適化する。

40

【0052】

[0063] ステップS508で、ステップS508の最適化されたソースに対してさらにOPCが実行される。このステップはオプションである。

【0053】

[0064] ステップS510で、結果が出力され、すなわち、設計レイアウトに関する最適化されたソース及び選択された最適なサブレイアウトが生成される。これは、設計段階でのプロセスウィンドウ解析に有用である。

【0054】

50

[0065] 図6は、漸進的方式によって、DP分割アルゴリズム642、DPパターン選択アルゴリズム665(図5のステップS504)、及びDP-SMOアルゴリズム657(図5のステップS508)が統合された例示的な一実施形態を示す。DPパターン選択アルゴリズム665は、設計レイアウト(又はクリップのより大きなセット)640を採用し、SMO認識アルゴリズムを使用してクリティカルなパターンのサブセットを選択し、それらを2つのサブレイアウト670及び671に分割する。DP-SMOアルゴリズム657は、2つのサブレイアウト670及び671とソースを同時に最適化し、最適化されたソース674を出力する。DP分割アルゴリズム642は、現行プロセス中で最適化されると、事前に知られたルール、及び/又はソース674によって決定されたルールを使用する。DP-OPCアルゴリズム678(図4に記載のFMOと等価)は、適切なOPCを適用することによって、最適化されたソース674に対して2つのフルチップサブレイアウト660及び662を最適化する。オプションのLMCアルゴリズム676は、DP分割アルゴリズム642及びDPパターン選択アルゴリズム665のうちの1つ又は両方にフィードバックしてもよいホットスポット/ウォームスポット667を識別することができる。

10

【0055】

[0066] 代替実施形態では、DP分割アルゴリズム642は、DPパターン選択アルゴリズム665を使用しない場合があり、すなわちブロック665、670、671、及び657はこの代替実施形態では使用されない。この実施形態では、既知の初期ソース674が使用され、アルゴリズム642は設計レイアウト640を2つのサブレイアウト644及び646に分割するが、これらは、ソース674で最適化でき、その後、FMOに関するオプションのDP-OPCアルゴリズムが続く。オプションのLMCステップ676は、この実施形態の一部とすることもできる。

20

【0056】

[0067] 次に、本発明の様々な機能の特定の例について説明する。当業者であれば、各実施形態を実施するためにすべての機能が必要ではないこと、及び、以下で別々に説明される機能の多くが本発明の範囲を逸脱することなく組み合わせることができることを理解されよう。

【0057】

1. SMO認識DPパターン選択

30

[0068] 全設計レイアウトからクリップの初期の大きなセットが識別される。一般に、初期のセットは、設計レイアウト全体を十分に表すことができる所望のクリティカルなパターンを含むことが想定される。クリップの初期の大きなセットは、特定の結像最適化を必要とする設計レイアウト内の既知のクリティカルフィーチャ領域に基づいて顧客によって提供されてもよい。あるいは、設計レイアウト全体から自動的に抽出してもよい。例えば、DP分割ルールの下で、クリティカルフィーチャ領域はクリティカルクリップセットとして使用することができる。

【0058】

[0069] DPパターン選択アルゴリズムのフローチャートが図7に示されている。フローチャートのステップS702で、DPパターン選択は、回折マップ認識アルゴリズムを使用して、クリップのより大きなセット内の各ターゲットパターンを分割する。これは、回折マップが特定パターンに対して最適化されたソースにどのように関連するかという知識に基づくものである。ターゲットパターンからの回折シグネチャグループの数が少ないほど、最適化されたソースに関する制約も少なくなり、他のパターンでの最適化をより容易にすることにつながる。各ターゲットパターンに対して、複数の可能な分割選択肢があってもよい。各可能な分割選択肢について、分割サブレイアウトの回折マップが生成される。一実施形態では、2つのサブレイアウトにおける回折シグネチャグループの数は、SMOが特定の分割の方を選ぶことができる方法を示すコスト関数として使用される。他のタイプのコスト関数も事前定義することができる。

40

【0059】

50

[0070] ステップS704で、選択済みクリップセットは、代表クリップが識別されセットに追加されると徐々に占有される空のセットとして初期化される。次のステップS704の開始時に、すべてのクリップは既に2つのサブレイアウトに分割される。各クリップが依然として2つの可能な構成を有することに留意されたい。クリップ C_i の2つのサブレイアウトを M_i^0 及び M_i^1 として示すことにする。2つのサブレイアウトはスワップできる。スワップを制御するための構成変数 r_i が存在する。各サブレイアウトは、これに関連付けられた回折シグネチャグループ「g」のリストを有し、「G」はグループ「g」の集合である。

【数1】

$$(C_i, r_i) = (G_i^0, G_i^1) = \begin{cases} (\{g_{i0}^0, g_{i1}^0, g_{i2}^0, \dots\}, \{g_{i0}^1, g_{i1}^1, g_{i2}^1, \dots\}) & r_i = 0 \\ (\{g_{i0}^1, g_{i1}^1, g_{i2}^1, \dots\}, \{g_{i0}^0, g_{i1}^0, g_{i2}^0, \dots\}) & r_i = 1 \end{cases} \quad 10$$

【0060】

[0071] ステップS706で、反復アルゴリズムを使用して、カバレッジ関係を探るための各クリップの構成を決定する。各反復ステップでは、最大回折 - シグネチャグループカバレッジ数を有するクリップが選択され、選択済みクリップセットに追加される。

【0061】

[0072] 構成 (C_i, r_i) 及び (C_j, r_j) を有する2つのクリップでは、回折 - シグネチャグループカバー数 $N(C_i, r_i, C_j, r_j)$ は、 G_j^0 に属し、 G_i^0 内のグループによってカバーされる回折 - シグネチャグループの数と、さらに加えて、 G_j^1 に属し、 G_i^1 内のグループによってカバーされるグループの数とによって計算することができる。 20

【数2】

$$N((C_i, r_i), (C_j, r_j), \Omega) = |\{g_j^0 : g_j^0 \in G_j^0, g_j^0 \subset G_i^0, g_j^0 \notin \Omega\}| + |\{g_j^1 : g_j^1 \in G_j^1, g_j^1 \subset G_i^1, g_j^1 \notin \Omega\}|$$

【0062】

[0073] ここで

【数3】

$$g_j^0 \subset G_i^0$$

は、グループ g_j^0 が、 G_i^0 内の1つのグループによってカバーされることを示す。または、以前の反復におけるすべてのカバーされたグループのセットである。 30

【0063】

[0074] 次に、1つのクリップに関する回折 - シグネチャグループのカバー数は、以下のように定義される。

【数4】

$$N(C_i, \Omega) = \max_{r_i} \sum_{j \neq i} \max_{r_j} N((C_i, r_i), (C_j, r_j), \Omega)$$

【0064】

[0075] 1つのクリップの構成が以前の反復で既に決定されている場合、その構成はこの計算で確定される。

【0065】

[0076] 最大の回折 - シグネチャグループのカバー数が選択された後、関連する状況を更新する必要がある。これはステップS708に示される。選択済みクリップの構成は、上記計算から決定される。選択されたクリップは選択済みクリップセットに加えらる。また、未選択クリップの構成は、それらが選択済みクリップによって決定された場合に設定される。選択済みクリップによってカバーされるすべての回折 - シグネチャグループが、カバー済みグループセットに加えらる。 40

【0066】

[0077] 上述の手順は、クリップのすべての構成が決定され、すべての回折シグネチャグループが選択済みクリップによってカバーされるまで、反復される。

【0067】

[0078] ステップS 7 1 0で、すべての回折 - シグネチャグループが選択済みクリップセット内でカバーされることが決定された場合、ステップS 7 1 2で結果が出力される。カバーされることが決定されない場合、反復計算が続行される。ステップS 7 1 2の出力は、それらの構成を有する選択済みクリップとすることができる。

【 0 0 6 8 】

2 . D P - S M O

[0079] D P - S M Oアルゴリズムは、ダブルバターニングプロセスフローで使用される2つのソース構成及び2つのマスク（サブレイアウト）構成に関する共最適化フレームワークである。D P - S M Oは、コスト関数を定義するために設計レイアウトを直接使用する。このコスト関数は、以前の分割結果に関して回答しないため、結果として最適化されたサブレイアウト内で特別な柔軟性を有する。

10

【 0 0 6 9 】

[0080] オリジナルの設計レイアウトでは、一組の事前定義された評価ポイントがターゲットパターンの仮想上の輪郭に沿って配置される。例えば線量の変化、デフォーカスの深さ（D O F）、マスクバイアスなどを含んでもよい一組の事前定義されたプロセス条件は、ユーザによって定義される。このコスト関数は、プロセス条件全体にわたる複数の評価ポイントに対する高位の推定エッジ配置エラー（Edge Placement Error: E P E）の重み付け合計として定義することができる。製造制約も考慮に入れることができる。

【 0 0 7 0 】

[0081] S M Oの最適化は、関与する制約の数によって比較的複雑である。例えば、2つのダブルバターニング分割選択肢の非線形性によって、D P - S M Oに関する大域的最適の達成をより困難にする。オブティマイザが局所最小値に陥るのを避けるために、既知のルールベース分割アルゴリズムからの2つのサブレイアウトが初期設定として使用される。最適化が大域的最適解に収束するのを助けるために、S M Oフローで数学的漸進方式も使用される。

20

【 0 0 7 1 】

3 . 最適化されたソースに関するD P分解アルゴリズム

[0082] 最適化されたソースが与えられた場合、D P分割アルゴリズムは、より大きな（例えばフルチップ）設計レイアウトを2つのサブレイアウトに分割する。D P分割ステップは、設計レイアウト側での大幅なトポロジー変更を決定する。S M Oプロセス全体を促進させるために、設計レイアウトを、所与のソースを認識した2つのサブレイアウトに分割することが重要である。

30

【 0 0 7 2 】

[0083] 図8の例に示されるように、所与のソース8 1 0では、ルール生成プログラム8 1 2は、D P分割アルゴリズムで使用される一組の分割ルール8 1 4を生成する。分割ルールは、設計レイアウト8 4 0から作成された分割サブレイアウト8 6 0の方を、対応するソースが選ぶ方法を符号化する。図8に示されるように、ソース選択は、D P分割フレームワークの幾つかのステップS 8 0 2 ~ S 8 0 8における分割ルールに影響を与える。ステップS 8 0 2で、クリティカルなパターンが「フラクチャ処理」（' fracture'）される。ステップS 8 0 4で、クリティカルなグループを列挙したグラフが（おそらく回折シグネチャ解析に基づいて）作成される。ステップS 8 0 6で、最適化問題を解決することによって、大域的クリティカルグループグラフが生成される。ステップS 8 0 8で、非クリティカル部分も分割され、異なるサブレイアウトに追加される。これらすべてのステップについて、以下でさらに詳述する。

40

【 0 0 7 3 】

[0084] クリティカルな部分をフラクチャ処理するために使用されるルールの多くはソースから推定できる。これらのルールセットは、最小ピッチ寸法、最小コーナー間寸法、線から端までの最小寸法、禁止されたピッチ寸法が含まれるが、これらに限定されない。ルールセットが与えられると、設計レイアウト内のすべての多角形はクリティカル部分及び非クリティカル部分にフラクチャ処理される。クリティカル部分は、他のクリティカルノ

50

非クリティカル多角形とのクリティカルな関係（競合）を有する多角形からなる。

【 0 0 7 4 】

[0085] クリティカルな多角形及びそれらの間の競合が、グラフを形成する。次に、グラフの接続された各コンポーネントの多角形は、クリティカルグループにグループ化される。各クリティカルグループ内の多角形は2つのサブレイアウトに分割されるため、各サブレイアウト内に競合はない。クリティカルグループ内の各サブレイアウトについて、近接多角形間で、ピッチ、コーナー間の距離などの一組の幾何学的特徴が測定される。次に、各ソースに関するこれらの幾何学的特徴に基づいてコストが計算される。計算されるコストは、各ソースの下のマスクの結像品質の推定値である。したがって、各クリティカルグループについて、コストは、2つのサブレイアウトと2つのソース構成との間の相互関係の指標であり、クリティカルグループから基準ノードまでのクリティカルグループグラフに、重み付けエッジが追加される。

10

【 0 0 7 5 】

[0086] 既に特定のサブレイアウトに割り当てられた多角形に基づいて、分離された非クリティカル多角形を分割するために反復方法が使用される。

【 0 0 7 6 】

[0087] すべての「カラリングされた」多角形（'colored' polygon）、すなわち、クリティカルとして識別され、サブレイアウトに割り当てられた多角形から、近接する「カラリングされていない」多角形（'uncolored' polygon）が識別される。カラリングされた多角形とカラリングされていない多角形との間で一組のフィーチャが測定され、コストが計算される。コストとは、画像品質の推定、すなわちカラリングされていない多角形がカラリングされた多角形の同じサブレイアウト内に含まれる場合、画像がどのように影響を受けるかである。

20

【 0 0 7 7 】

[0088] 最もコストの高い、カラリングされた多角形とカラリングされていない多角形のペアが選択される。言い換えれば、カラリングされていない多角形をカラリングされた多角形の同じサブレイアウト内に割り当てると、最も悪い結像品質を有する。これを避けるために、カラリングされていない多角形は異なるサブレイアウト内に割り当てられる。

【 0 0 7 8 】

[0089] これらのステップに従って、最適化されたソースに対して最適画像品質を達成することができるソース認識分割アルゴリズムを構築することができる。

30

【 0 0 7 9 】

4 . D P - O P C

[0090] ソースが最適化され、フルチップ設計レイアウトが2つのサブレイアウトに分割された後、D P - O P C のより高速なバージョンを使用して、2つのサブレイアウトをフルチップスケールで同時に最適化することができる。これは、さらに改善された結像性能を達成するためのオプションのステップである。

【 0 0 8 0 】

[0091] D P - O P C は、設計レイアウトから直接導出される D P - S M O 内と同様のコスト関数を使用する。コスト関数は、様々な可能なプロセス条件にわたる複数の評価ポイントに対する高位の推定エッジ配置エラー（E P E）の重み付け合計、及び存在する場合は、製造関連プロセス制約として定義することができる。通常、D P - O P C ステップ中のコスト関数は、D P - S M O で使用されるコスト関数よりも単純であり、通常、漸進的方式は不要である。また、典型的には、D P - O P C の方が収束に必要な反復ステップは少ない。

40

【 0 0 8 1 】

5 . D P 分割及び D P パターン選択へのホットスポット/ウォームスポットのフィードバックの追加

[0092] 上記で説明され、図 4 及び図 6 にされるように、オプションの L M C ステップを、D P - O P C（又は D P - F M O）ステップの後に、プロセスフローの一部として含め

50

ることができる。必要なプロセスウィンドウ内にホットスポット/ウォームスポットが存在するかを検証するために、LMC手順が実行される。ホットスポット/ウォームスポットが検出された場合、DP-OPCステップでホットスポット/ウォームスポットを生じさせるターゲット内の対応するエッジが識別される。同じマスク内で2つのエッジが互いに近すぎる場合、それらは異なるマスクに分割する必要がある。したがって、2つのクリティカルな多角形がエッジに沿って生成され、それらの間の高優先度の力競合がマーク付けされる。その後、DP分割が再度実行され、ホットスポット/ウォームスポットを生じさせる2つのエッジは、2つの異なるサブレイアウトに強制的に分割される。

【0082】

[0093] DP分割ステップによって解決できないホットスポット/ウォームスポットの場合、それらをDPパターン選択にフィードバックする必要がある。各ホットスポット/ウォームスポットについて、ホットスポット/ウォームスポット周辺的设计レイアウトのパッチは、クリップとして切り取られる。それらの新しいパッチ/クリップは、クリップの初期の大きなセットに追加される。次に、新しいソースを得るために、DPパターン選択が再度実行される。新しいソースは、より良好な画像品質を達成でき、ホットスポット/ウォームスポットを除去できる新しいパッチ/クリップを用いて、最適化される。新しいソースを使用する未解決のホットスポット/ウォームスポットが存在する場合、各ホットスポット/ウォームスポット周囲的设计は、DPプロセスの制限に合致するように変更してもよい。

【0083】

C. 本発明の実施形態を実施するコンピュータシステムの詳細

[0094] 図9は、本明細書に開示するパターン選択方法の実施を支援することができるコンピュータシステム100を示すブロック図である。コンピュータシステム100は、情報を送受信するバス102又はその他の通信機構と、情報を処理するバス102に結合された1つ又は複数のプロセッサ104(及び105)とを含む。コンピュータシステム100は、また、情報及びプロセッサ104によって実行される命令を記憶するためのバス102に結合されたランダムアクセスメモリ(RAM)又はその他のダイナミックストレージデバイスなどのメインメモリ106を含む。メインメモリ106は、またプロセッサ104によって実行される命令の実行中に、一時的変数又はその他の中間情報を記憶するために使用することができる。コンピュータシステム100は、さらにプロセッサ104のために静的情報及び命令を記憶するバス102に結合された読取専用メモリ(ROM)108又はその他のスタティックストレージデバイスを含む。磁気ディスク又は光ディスクなどのストレージデバイス110が提供され、バス102に結合され、情報及び命令を記憶する。

【0084】

[0095] コンピュータシステム100は、バス102を介して、コンピュータユーザに対して情報を表示する陰極管(CRT)又はフラットパネル又はタッチパネルディスプレイなどのディスプレイ112に結合することができる。英数字キー及びその他のキーを含む入力デバイス114がバス102に結合され、プロセッサ104へ情報と選択したコマンドを送信する。別のタイプのユーザ入力デバイスがプロセッサ104へ方向情報と選択したコマンドを送信し、ディスプレイ112上でのカーソルの動きを制御するマウス、トラックボール、又はカーソル方向キーなどのカーソル制御装置116である。この入力デバイスは、通常、第1軸(例えば、x)と第2軸(例えば、y)の2軸で自由度2を有し、これによってデバイスは平面内の位置を指定することができる。入力デバイスとしてタッチパネル(画面)ディスプレイも使用することができる。

【0085】

[0096] 本発明の一実施形態によれば、プロセッサ104によるメインメモリ106に含まれる1つ又は複数の命令の1つ又は複数のシーケンスの実行にตอบสนองしてコンピュータシステム100によってシミュレーションプロセスの一部を実行することができる。このような命令は、ストレージデバイス110などの別のコンピュータ可読媒体からメインメモ

リ106に読み込むことができる。メインメモリ106内に含まれる命令シーケンスを実行すると、プロセッサ104は本明細書に記載する各プロセスステップを実行する。マルチ処理装置内の1つ又は複数のプロセッサを使用してメインメモリ106内に含まれる命令シーケンスを実行することができる。代替実施形態では、ソフトウェア命令の代わりに、又はそれと組み合わせてハードワイヤード回路を使用することができる。したがって、本発明の実施形態は、ハードウェア回路とソフトウェアとの特定の組合せに限定されない。

【0086】

[0097] 本明細書で使用する「コンピュータ可読媒体」という用語は、実行のためにプロセッサ104に命令を提供するステップに加わる任意の媒体を指す。このような媒体は、不揮発性媒体、揮発性媒体、及び伝送媒体を含む多くの形態をとることができるが、これらに限定されない。不揮発性媒体は、例えば、ストレージデバイス110などの光又は磁気ディスクを含む。揮発性媒体は、メインメモリ106などのダイナミックメモリを含む。伝送媒体は、バス102を構成するワイヤを含む同軸ケーブル、銅線及び光ファイバを含む。また伝送媒体は、無線周波数(RF)及び赤外線(IR)データ通信中に生成される音波又は光波の形態をとることができる。コンピュータ可読媒体の一般形態は、例えば、フロッピー(登録商標)ディスク、フレキシブルディスク、ハードディスク、磁気テープ、その他の任意の磁気媒体、CD-ROM、DVD、その他の任意の光媒体、パンチカード、紙テープ、穴のパターンを有するその他の任意の物理媒体、RAM、PROM、及びEPROM、フラッシュEPROM、その他の任意のメモリチップ又はカートリッジ、以下に記載する搬送波、又はコンピュータが読み取り可能なその他の任意の媒体を含む。

【0087】

[0098] 様々な形態のコンピュータ可読媒体がプロセッサ104へ1つ又は複数の命令の1つ又は複数のシーケンスを搬送して実行するステップに含まれる。例えば、命令は、最初リモートコンピュータの磁気ディスク上に記憶されていてもよい。リモートコンピュータは、命令をダイナミックメモリにロードし、モデムを用いて電話回線上で命令を送信することができる。コンピュータシステム100側のモデムは電話回線上でデータを受信し、赤外線送信機を用いてデータを赤外線信号に変換する。バス102に結合された赤外線検出器が赤外線信号で搬送されたデータを受信し、データをバス102上に配置することができる。バス102はデータをメインメモリ106へ搬送し、そこからプロセッサ104が命令を取り出して実行する。オプションとして、メインメモリ106によって受信された命令は、プロセッサ104による実行前又は後にストレージデバイス110に記憶することができる。

【0088】

[0099] また、コンピュータシステム100は、バス102に結合された通信インターフェイス118を含むことが好ましい。通信インターフェイス118は、ローカルネットワーク122に接続されたネットワークリンク120への双方向データ通信接続を提供する。例えば、通信インターフェイス118は、対応するタイプの電話回線にデータ通信接続を提供する総合デジタル通信サービス網(ISDN)カード又はモデムであってもよい。別の例として、通信インターフェイス118は、互換LANにデータ通信接続を提供するローカルエリアネットワーク(LAN)であってもよい。無線リンクも実施することができる。そのような任意の実施態様で、通信インターフェイス118は、様々なタイプの情報を表すデジタルデータストリームを搬送する電気信号、電磁信号又は光信号を送受信する。

【0089】

[00100] ネットワークリンク120は、通常、1つ又は複数のネットワークを通してデータ通信を他のデータデバイスに提供する。例えば、ネットワークリンク120は、ローカルネットワーク122を通してインターネットサービスプロバイダ(ISP)126が運用するホストコンピュータ124又はデータ装置に接続を提供することができる。次いでISP126は、ワールドワイドパケットデータ通信ネットワーク、現在の通称は「イ

10

20

30

40

50

ンターネット」128を通してデータ通信サービスを提供する。ローカルネットワーク122とインターネット128は共に、デジタルデータストリームを搬送する電気信号、電磁信号又は光信号を使用する。デジタルデータをコンピュータシステム100との間で送受信する様々なネットワークを介した信号及びネットワークリンク120上の信号及び通信インターフェイス118を介した信号は情報を伝送する搬送波の例示的形態である。

【0090】

[00101] コンピュータシステム100は、ネットワーク、ネットワークリンク120、及び通信インターフェイス118を通してメッセージを送信し、プログラムコードを含むデータを受信することができる。インターネットの例では、インターネット128、ISP126、ローカルネットワーク122及び通信インターフェイス118を通してサーバ130がアプリケーションプログラムのために要求されたコードを送信することができる。本発明によれば、そのような1つのダウンロードされたアプリケーションは、例えばこの実施形態の選択したテストパターンに備える。受信されたコードは、それが受信されるとプロセッサ104によって実行することができ、及び/又はストレージデバイス110又はその他の不揮発性記憶装置に記憶して後で実行することができる。このようにして、コンピュータシステム100は搬送波の形式でアプリケーションコードを入手することができる。

10

【0091】

D. リソグラフィツールの例

[00102] 図10は、本発明のテストパターン選択プロセスを使用して較正される計算リソグラフィモデルを使用してその性能をシミュレート及び/又は最適化できる例示的リソグラフィ投影装置を概略的に示す。この装置は、以下のコンポーネントを含む。

20

[00103] - 放射投影ビームPBを供給する放射システムEx、IL。この例では、放射システムは放射源SOをさらに含む。

[00104] - マスクMA（例えば、レチクル）を保持するマスクホルダを備え、投影システムPSに対してマスクを正確に位置決めする第1の位置決め手段PMに接続された第1のオブジェクトテーブル（マスクテーブル）MT。

[00105] - 基板W（例えば、レジストコートシリコンウェーハ）を保持する基板ホルダを備え、投影システムPSに対して基板を正確に位置決めする第2の位置決め手段PWに接続された第2のオブジェクトテーブル（基板テーブル）WT。

30

[00106] - 基板Wのターゲット部分C（例えば、1つ又は複数のダイを含む）上にマスクMAの照射部分を結像する投影システム（「レンズ」）PS（例えば、屈折、反射光学、又は反射屈折光学システム）。

【0092】

[00107] 本明細書に記載するように、装置は透過型である（すなわち、透過マスクを有する）。しかし、通常、装置は例えば反射型（反射マスクを備えた）であってもよい。あるいは、装置は、マスクの使用に代えて別の種類のパターンニング手段を使用してもよい。その例として、プログラブルミラーアレイ又はLCDマトリクスがある。

【0093】

[00108] 放射源SO（例えば、水銀ランプ又はエキシマレーザ）は、放射ビームを生成する。このビームは、直接、又はビームエキスパンダ又はビームデリバリシステムBDなどの調節手段を通った後で、照明システム（イルミネータ）ILに供給される。イルミネータILは、ビーム内の強度分散の外側及び/又は内側半径範囲（それぞれ通例 - outer、- innerと呼ばれる）を設定する調整手段ADを備えていてもよい。さらに、イルミネータILは、通常、インテグレータIN及びコンデンサCOなどの様々な他のコンポーネントを備える。このようにして、マスクMAに当たるビームBは、断面に所望の均一性と強度分布とを有する。

40

【0094】

[00109] 図10に関して、放射源SOはリソグラフィ投影装置のハウジング内であってもよい（例えば、多くの場合、放射源SOが水銀ランプの場合にあてはまる）が、リソグ

50

ラフィ投影装置から離れていてもよく、生成する放射ビームを装置内に誘導する（例えば、適切な誘導ミラーにより）構成であってもよいことに留意されたい。この後者のシナリオは、多くの場合、放射源SOがエキシマレーザ（例えば、KrF、ArF又はF₂レーザに基づく）の時にあてはまる。本発明は、少なくともこれらの両方のシナリオを包含する。

【0095】

[00110] その後、ビームBは、マスクテーブルMT上に保持されたマスクMAに達する。マスクMAを横断したビームBは、レンズPSを通過し、レンズPSは基板Wのターゲット部分C上にビームBを合焦させる。第2の位置決め手段（及び干渉測定手段IF）により、基板テーブルWTを正確に移動させて様々なターゲット部分CをビームBの経路内に位置決めすることができる。同様に、第1の位置決め手段を用いて、例えば、マスクライブラリからマスクMAを機械的に取り出した後で、又はスキャン中に、ビームBの経路に対してマスクMAを正確に位置決めすることができる。通常、オブジェクトテーブルMT、WTの移動は、図10には明示していないロングストロークモジュール（粗動位置決め）とショートストロークモジュール（微動位置決め）により実現する。しかし、ウェーハステッパ（ステップアンドスキャンツールとは対照的に）の場合、マスクテーブルMTをショートストロークアクチュエータに接続するだけでよく、又は固定してもよい。

10

【0096】

[00111] パターニングデバイスMA及び基板Wは、必要に応じて、パターニングデバイス内の位置合わせマークM1、M2、及びウェーハ上の位置合わせワークP1、P2を使用して、位置合わせすることができる。

20

【0097】

[00112] 図のツールは、下記の2つの異なるモードで使用することができる。

【0098】

[00113] - ステップモードでは、マスクテーブルMTは、基本的に固定状態に維持され、全マスク画像は、1回で（すなわち、1回の「フラッシュ」で）ターゲット部分C上に投影される。次に、異なるターゲット部分CをビームBで照射することができるように、基板テーブルWTがx及び/又はy方向にシフトされる。

【0099】

[00114] - スキャンモードでは、所与のターゲット部分Cが1回の「フラッシュ」で露光されない点を除けば、基本的には同じシナリオが適用される。代わりに、マスクテーブルMTを、速度vで所与の方向（例えば、y方向のような、いわゆる「スキャン方向」）に移動することができ、その結果、投影ビームPBはマスク画像上をスキャンする。同時に、基板テーブルWTは、速度V = Mvで同じ方向又は反対方向に同時に移動する。ここで、Mは、レンズPLの倍率（通常、M = 1/4又は1/5である）である。このようにして、解像度を犠牲にしないで比較的広いターゲット部分Cを露光することができる。

30

【0100】

[00115] 本明細書に開示する概念は、サブ波長フィーチャを結像する任意の汎用の結像システムをシミュレートするか又は数学的にモデル化することができ、特にますます微細化するサイズの波長を生成することができる台頭しつつある結像技術で有用である。すでに普及している新興技術は、ArFレーザを用いて193nmの波長を生成することができ、さらにフッ素レーザを用いて157nmの波長を生成することができるDUV（深紫外線）リソグラフィを含む。さらに、EUVリソグラフィは、シンクロトロンを用いて、又は高エネルギーの電子を材料（固体又はプラズマ）に衝突させて20～5nmの範囲に光子を生成してこの範囲内の波長を生成することができる。この範囲内では大半の材料が光を吸収するため、モリブデンとシリコンのマルチスタックを備えた反射ミラーによって照明を生成することができる。マルチスタックミラーは、各層の厚さが波長の4分の1であるモリブデンとシリコンの40個のペアの層を有する。X線リソグラフィでさらに小さい波長を生成することができる。通常、シンクロトロンを用いてX線波長が生成される。X線波長では大半の材料が光を吸収するため、光吸収性材料の薄片によってどこにフィー

40

50

チャを印刷し（正レジスト）、どこに印刷しないか（負レジスト）を定義することができる。

【0101】

[00116] 本明細書に開示する概念はシリコンウェーハなどの基板上の結像に使用することができるが、開示された概念は、例えば、シリコンウェーハ以外の基板上の結像に使用される任意のタイプのリソグラフィ結像システムと共に使用することができることを理解されたい。

【0102】

[00117] 本発明について、下記の条項を用いてさらに説明する。

1. リソグラフィプロセスにより基板上に結像されるパターンを複数のサブパターンに分割する方法であって、前記サブパターンのうちの少なくとも1つと、前記リソグラフィプロセスに使用されるリソグラフィ装置の光学設定との間の共最適化の要件を認識するように構成された分割ステップを含む、方法。

10

2. 前記共最適化の結果として光学設定が画定された後に、前記サブパターンをさらに最適化するために光近接効果補正（OPC）が実行される、条項1に記載の方法。

3. フルチップ最適化のためにOPCが実行される、条項2に記載の方法。

4. 共最適化の少なくとも1回の反復サイクルに続く検証プロセス時にホットスポット及びウォームスポットが識別される、条項1に記載の方法。

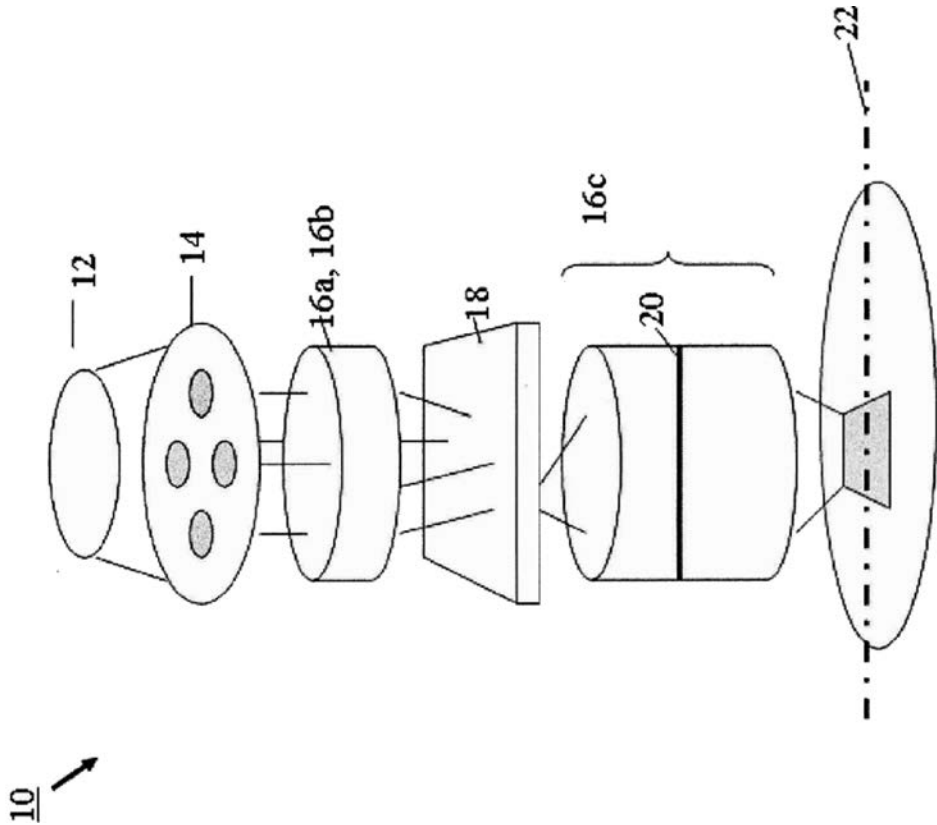
5. 識別されたホットスポット及びウォームスポットは、分割ステップで使用されるパターン分割アルゴリズムにフィードバックされる、条項4に記載の方法。

20

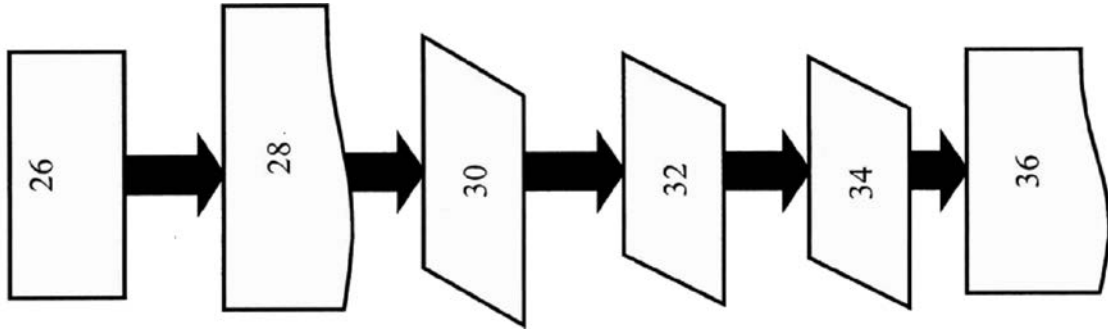
【0103】

[00118] 以上、本発明について、その好適な実施形態を参照しながら説明してきたが、当業者であれば、本発明の精神及び範囲を逸脱することなく、形式及び細部において変更及び修正できることが容易に明らかとなろう。添付の特許請求の範囲がこのような変更及び修正を包含することが意図されている。

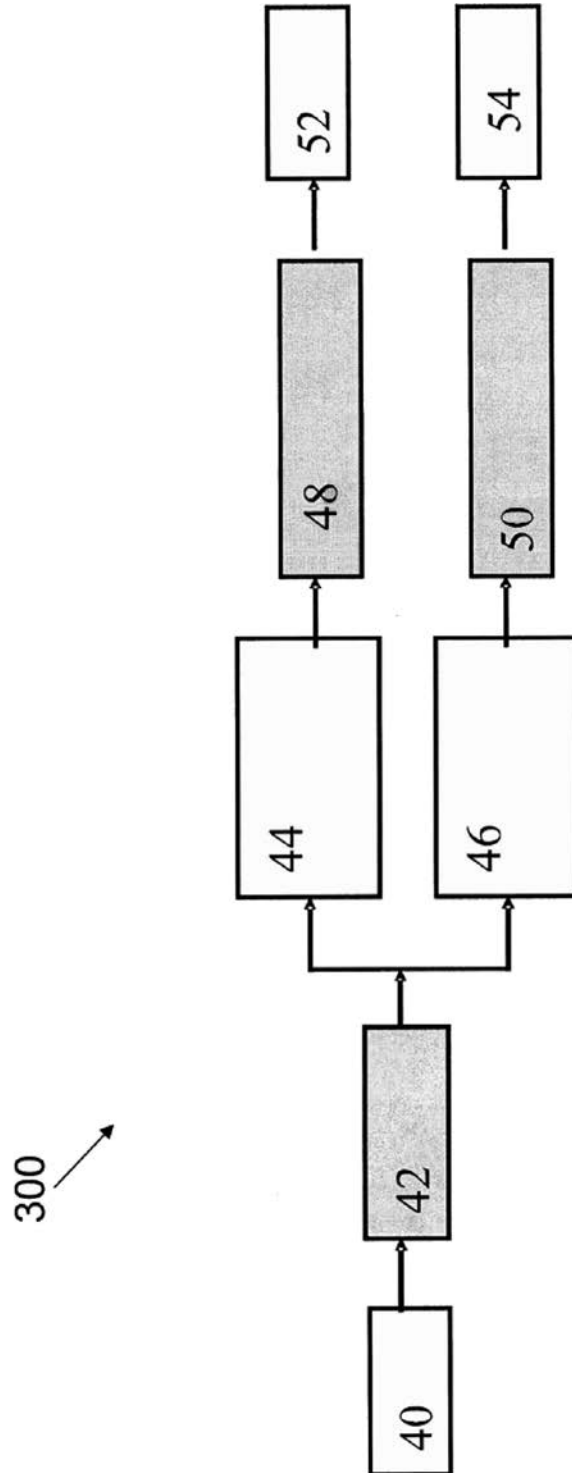
【図1】



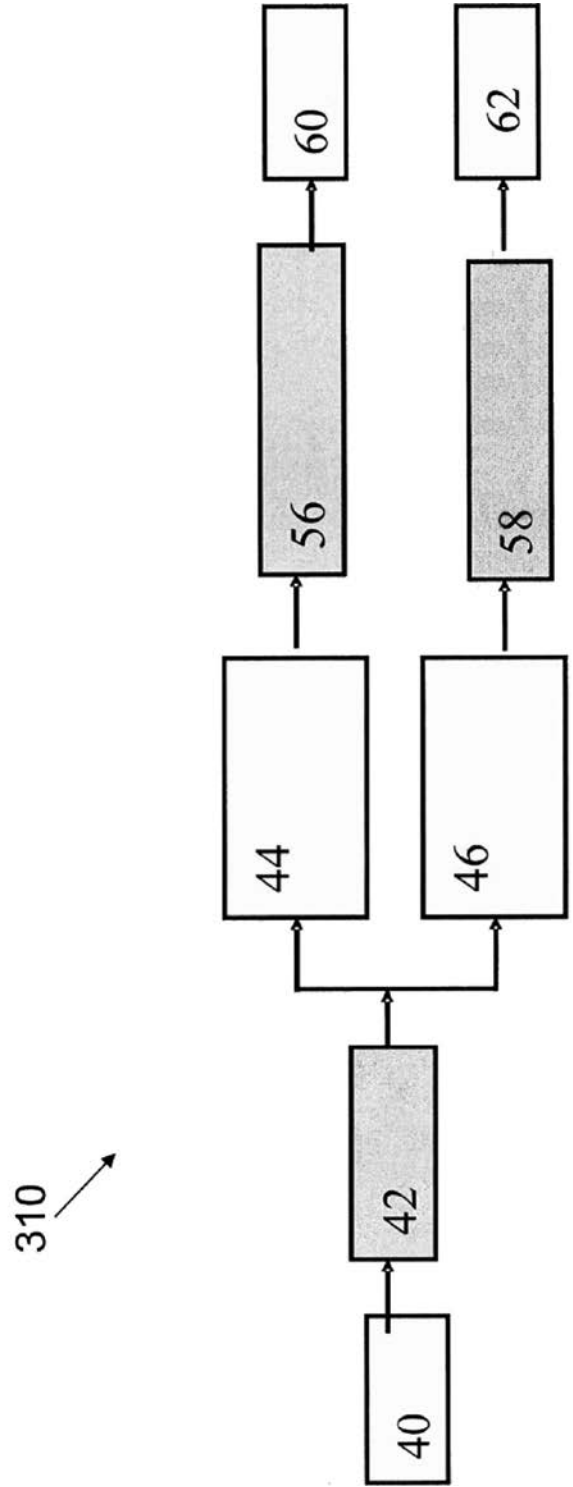
【 図 2 】



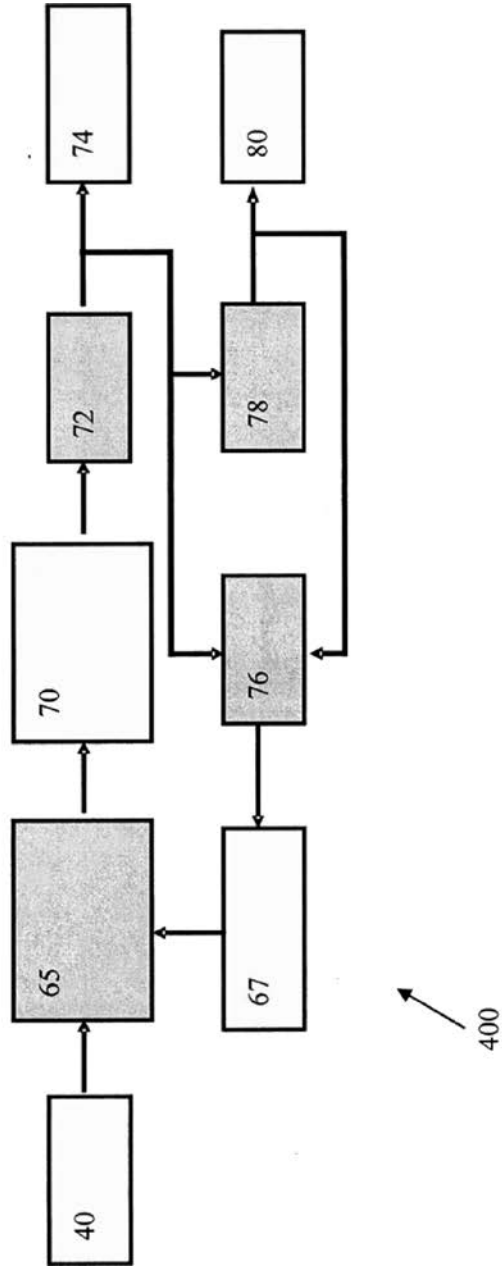
【 図 3 A 】



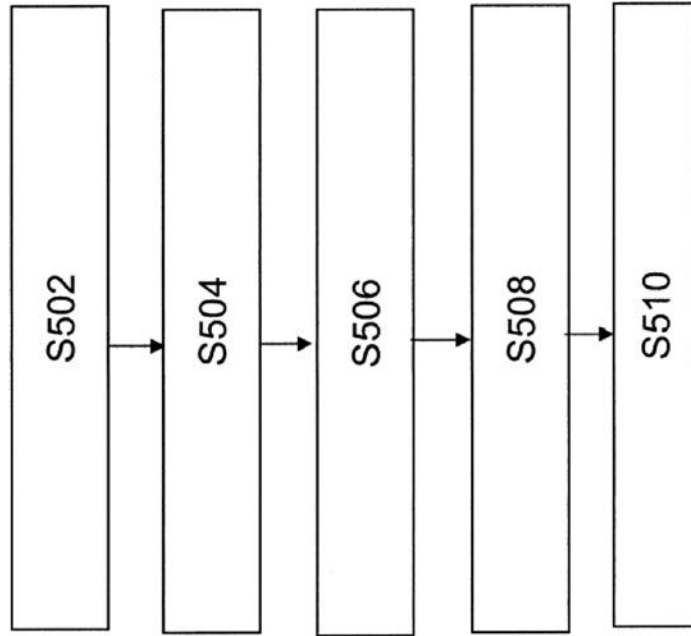
【 3 B 】



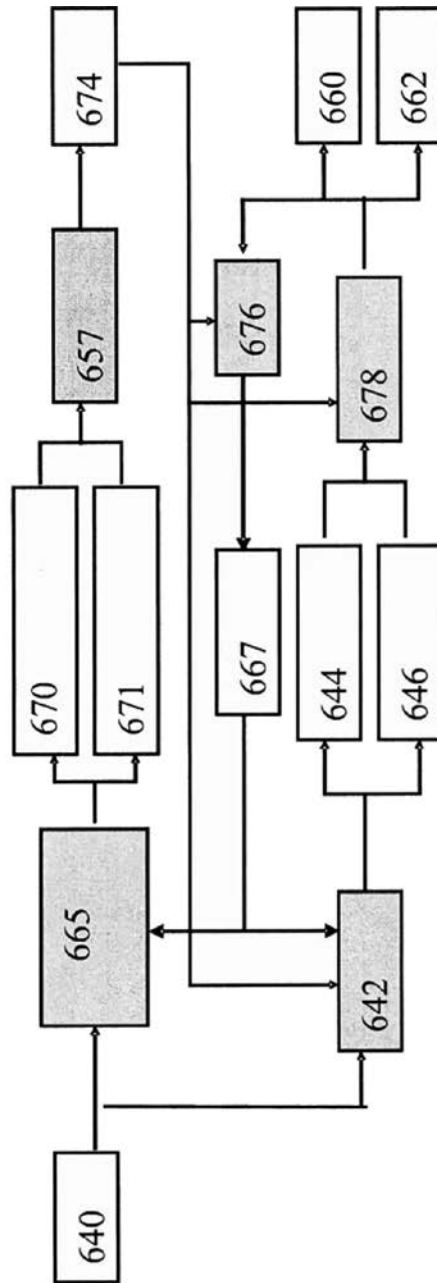
【 図 4 】



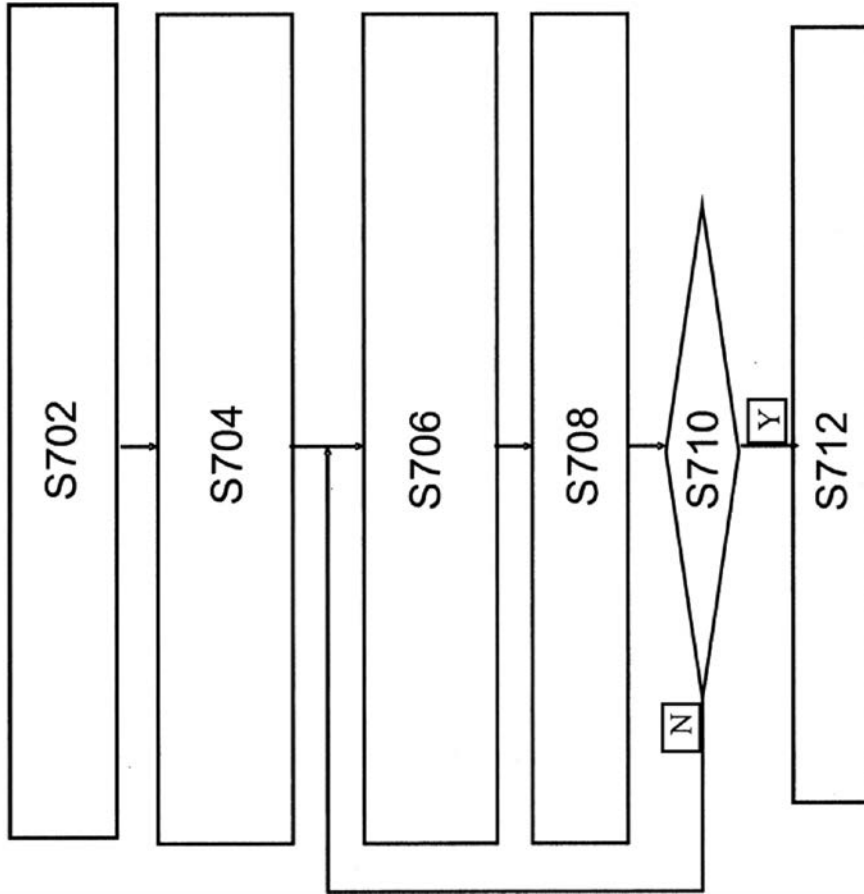
【 図 5 】



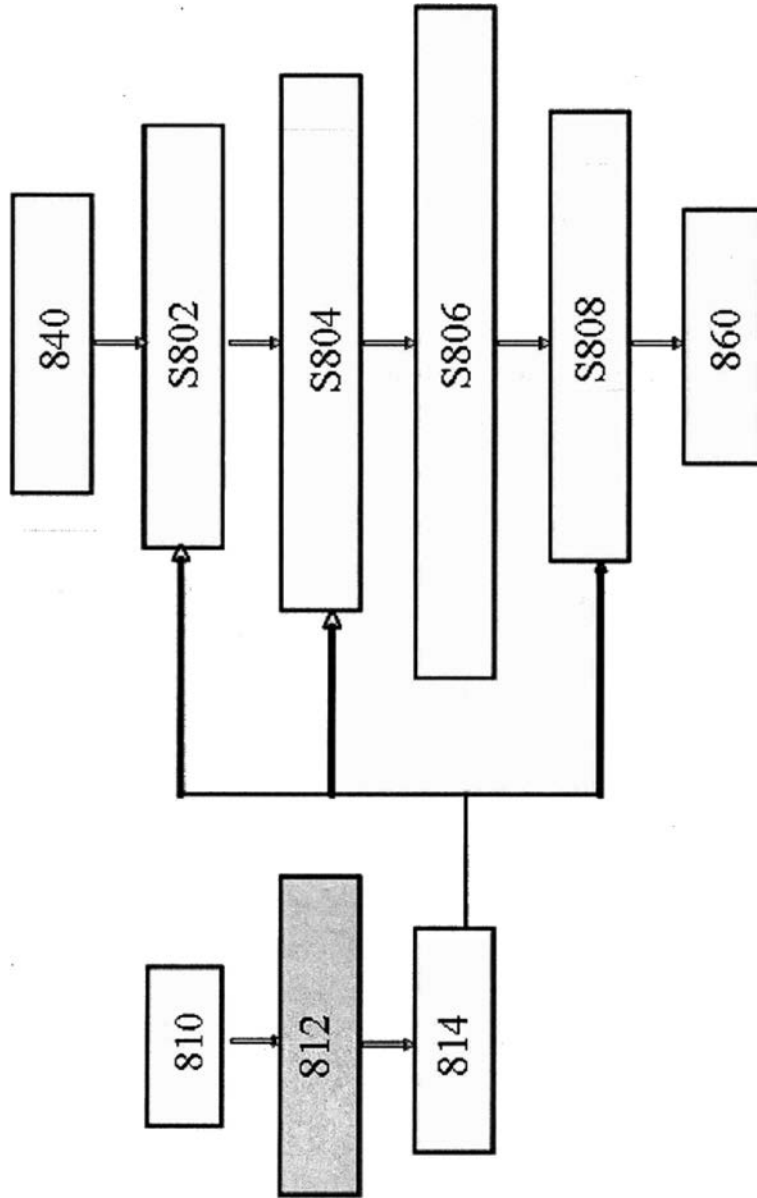
【 図 6 】



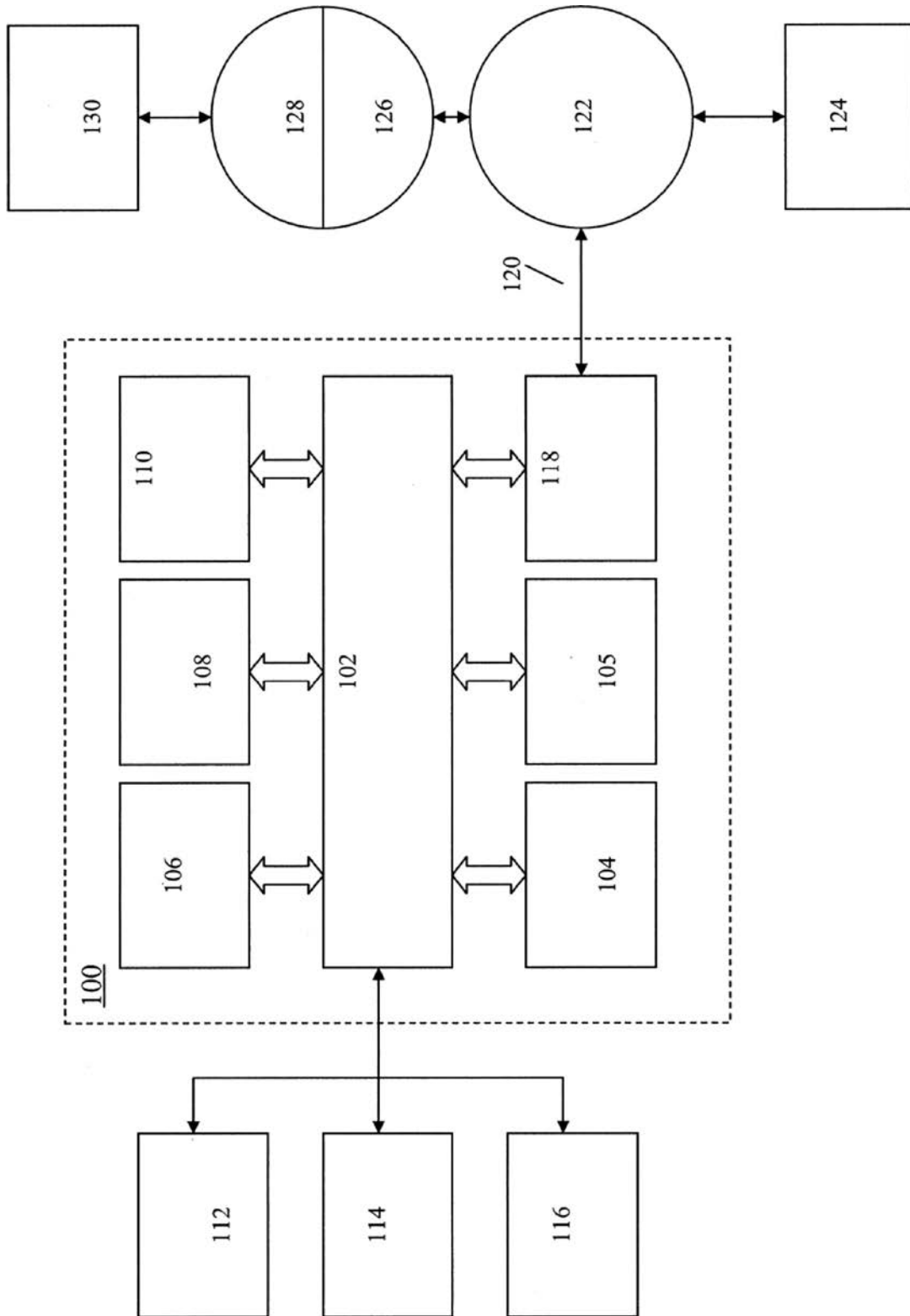
【 図 7 】



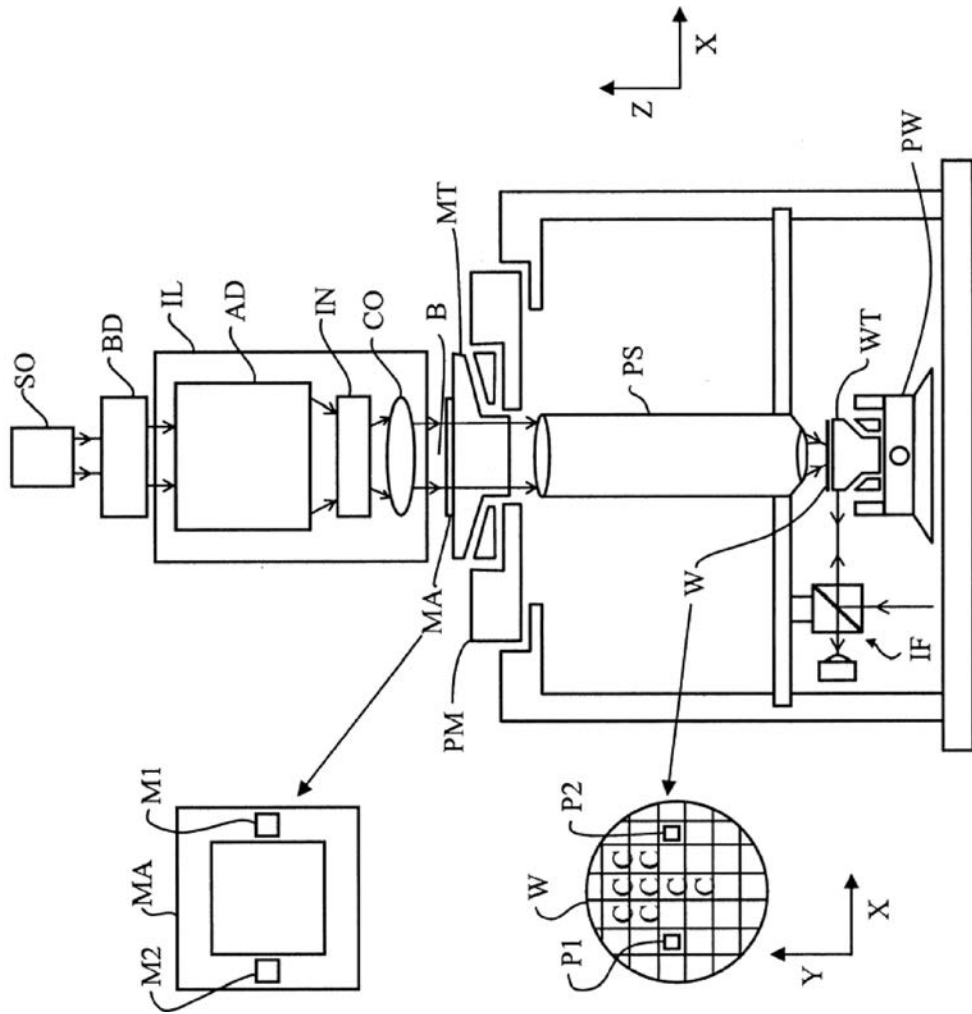
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



フロントページの続き

- (72)発明者 イエ, ジュン
アメリカ合衆国, カリフォルニア州 94306, パロ アルト, ブライアン ストリート 26
58
- (72)発明者 チェン, ホン
アメリカ合衆国, カリフォルニア州 95129, サン ノゼ, キャッスルウッド ドライブ 4
916

審査官 松岡 智也

- (56)参考文献 特開2008-096991(JP, A)
特開2009-200499(JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 21/027
G03F 1/00-1/86