

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4573873号
(P4573873)

(45) 発行日 平成22年11月4日 (2010. 11. 4)

(24) 登録日 平成22年8月27日 (2010. 8. 27)

(51) Int. Cl. F I
H O 1 L 21/027 (2006. 01)
 H O 1 L 21/30 5 O 3 C
 H O 1 L 21/30 5 O 2 D

請求項の数 27 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2007-515571 (P2007-515571)	(73) 特許権者	500039463
(86) (22) 出願日	平成17年6月2日 (2005. 6. 2)		ボード・オブ・リージェンツ, ザ・ユニバ
(65) 公表番号	特表2008-511972 (P2008-511972A)		ーシテイ・オブ・テキサス・システム
(43) 公表日	平成20年4月17日 (2008. 4. 17)		アメリカ合衆国、テキサス・78701、
(86) 国際出願番号	PCT/US2005/019392		オースティン、ウエスト・セブンス・スト
(87) 国際公開番号	W02005/121903		リート・201
(87) 国際公開日	平成17年12月22日 (2005. 12. 22)	(74) 代理人	100064621
審査請求日	平成20年5月22日 (2008. 5. 22)		弁理士 山川 政樹
(31) 優先権主張番号	60/576, 570	(74) 代理人	100098394
(32) 優先日	平成16年6月3日 (2004. 6. 3)		弁理士 山川 茂樹
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(72) 発明者	チェララ, アンシュマン
			アメリカ合衆国・78731・テキサス州
			・オースティン・グレイストン ドライブ
			・3543・アパートメント 2114

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マイクロリソグラフィにおけるアラインメントとオーバーレイを改善するシステムおよび方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

パターン形成デバイス上の記録パターンと基準パターンとの間の寸法変化を最小化するためにパターン形成デバイスに生じさせようとする変形のパラメータを求める方法であって、その方法は、

前記記録パターンのフィーチャと前記基準パターンの対応フィーチャとの間の空間変化を比較するステップと、

前記記録パターンのフィーチャと前記基準パターンの対応フィーチャとの間の配置設定誤差から、ひずみベクトルを生成するステップと、

前記寸法変化を低減するために前記パターン形成デバイスに加える、所定の拘束条件を有する相対向する変形力の対を前記ひずみベクトルから直接求めるステップと、
をから成ることを特徴とする方法。

10

【請求項 2】

前記拘束条件として、前記変形力の対から張力を除外する条件を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記拘束条件として、前記パターン形成デバイスの構造的完全性を危うくするような大きさの力を除外する条件を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記変形力を求めるステップは、前記拘束条件付き力ベクトルを確定するステップをさ

20

らに含み、前記変形力の対は、前記拘束条件付き力ベクトルの関数として求められることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

前記変形力を求めるステップは、オーバーレイ誤差の最大絶対値の大きさを最小化するステップをさらに含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記変形力を求めるステップは、前記パターン形成デバイスに加える変形力の対を確定するステップし、前記変形力の対を前記パターン形成デバイスに加えるステップをさらに含み、それぞれの前記変形力の対は同一の大きさのある一方向を有し、前記変形力の対のうち一方の力は、もう一方の力に関連する方向と逆方向であることを特徴とする請求項 1

10

【請求項 7】

前記比較するステップは、前記パターン形成デバイス上のオーバーレイフィーチャを、前記パターンを前記パターン形成デバイス上に書き込むために用いたコンピュータデータに関連した対応オーバーレイフィーチャと比較するステップをさらに含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

前記変形力を求めるステップは、オーバーレイ誤差の最大絶対値の大きさを最小化し、全域的な最小値を識別するステップをさらに含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 9】

20

パターン形成デバイス上の記録パターンと基準パターンとの間の寸法変化を最小化するためにパターン形成デバイスに生じさせようとする変形のパラメータを求める方法であって、

前記記録パターンのフィーチャと前記基準パターンの対応フィーチャとの間の空間変化を比較するステップを有し、前記変形のパラメータを求めるステップは前記寸法変化を低減するために前記パターン形成デバイスに加える圧縮力を確定するステップをさらに含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

パターン形成デバイス上の記録パターンと基準パターンとの間の寸法変化を最小化するためにパターン形成デバイスに生じさせようとする変形のパラメータを求める方法であって、その方法は、

30

前記記録パターンのフィーチャと前記基準パターンの対応フィーチャとの間の空間変化を比較するステップと、

前記記録パターンのフィーチャと前記基準パターンの対応フィーチャとの間の配置設定誤差から、ひずみベクトルを生成するステップと、

前記寸法変化を低減するために前記パターン形成デバイスに加える、所定の拘束条件を有する相対向する変形力の対を前記ひずみベクトルから直接求めるステップと、
から構成され、

すべての変形力の対は前記パターン形成デバイスに与える圧縮力であることを特徴とする方法。

40

【請求項 11】

前記変形力の対を求めるステップは、すべての前記変形力の対が所定の閾値より小さい大きさを持つように変形力の対を求めるステップをさらに含むことを特徴とする請求項 10 に記載の方法。

【請求項 12】

前記変形力の対を求めるステップは、オーバーレイ誤差の最大絶対値の大きさを最小化するステップをさらに含むことを特徴とする請求項 10 に記載の方法。

【請求項 13】

前記変形力の対を求めるステップは、前記パターン形成デバイスに加える変形力の対を確定するステップをさらに含み、前記確定するステップは、それぞれの対が同じ大きさと

50

、方向を有する前記変形力の対を前記パターン形成デバイスに加えるステップをさらに含み、前記変形力の対のうち一方の力の向きはその対のもう一方の力が関連する向きと反対であることを特徴とする請求項 10 に記載の方法。

【請求項 14】

前記比較するステップは、前記パターン形成デバイス上のオーバーレイフィーチャを、前記パターンを前記パターン形成デバイス上に書き込むために用いたコンピュータデータに関連した対応するオーバーレイフィーチャと比較するステップを含むことを特徴とする請求項 10 に記載の方法。

【請求項 15】

前記変形力の対を求めるステップは、オーバーレイ誤差の最大絶対値の大きさを最小化し、全域的最小値を識別するステップをさらに含むことを特徴とする請求項 10 に記載の方法。

10

【請求項 16】

パターン形成デバイス上の記録パターンと基準パターンとの間の寸法変化を最小化するためにパターン形成デバイスに生じさせようとする変形のパラメータを求めるシステムであって、そのシステムは、

前記記録パターンのフィーチャと前記基準パターンの対応フィーチャとの間の空間変化を比較する手段と、

前記記録パターンのフィーチャと前記基準パターンの対応フィーチャとの間の配置設定誤差から、ひずみベクトルを生成する手段と、

20

前記寸法変化を低減するために前記パターン形成デバイスに加える、所定の拘束条件を有する相対向する変形力の対を前記ひずみベクトルから直接求める手段と、
を備えることを特徴とするシステム。

【請求項 17】

前記変形力の対を求める手段は、すべての前記変形力の対が所定の閾値より小さい大きさを持つように、変形力の対を求める手段をさらに備えることを特徴とする請求項 16 に記載のシステム。

【請求項 18】

前記変形力の対を求める手段は、オーバーレイ誤差の最大絶対値の大きさを最小化する手段をさらに備えることを特徴とする請求項 16 に記載のシステム。

30

【請求項 19】

前記変形力の対を求める手段は、前記パターン形成デバイスに加える変形力の対を確定する手段をさらに備え、前記確定する手段は、それぞれが同じ大きさと方向を有する前記変形力の対を、前記パターン形成デバイスに加える手段をさらに備え、前記変形力の対のうち一方の力の向きはその対のもう一方の力と関連する向きと反対である手段を備えることを特徴とする請求項 16 に記載のシステム。

【請求項 20】

パターン形成デバイスに適用されると、前記パターン形成デバイス上の記録パターンと基準パターンとの間の寸法変化を最小化する変形のパラメータを求める方法であって、その方法は、

40

前記記録パターン上のフィーチャポイントと前記基準パターン上の対応フィーチャポイントの測定位置の誤差を生成するステップと、

前記記録パターン上のフィーチャポイントと前記基準パターン上の対応フィーチャポイント間の測定位置の前記誤差を基に、ひずみベクトルを生成するステップと、

前記パターン形成デバイスの 1 つのモデルに対しシミュレートされた力の対を与えることによって、前記パターン形成デバイスの空間特性および材料特性モデルからコンプライアンス行列を生成し、前記パターン形成デバイスの前記モデル上にある前記記録パターン上のフィーチャポイントの登録された動きと、前記与えられたシミュレートされた力の対との関係を判定するステップと、

前記コンプライアンス行列および前記記録パターン上の前記フィーチャポイントの測定

50

位置から、前記記録パターンおよび前記基準パターン間の大きさの変化を最小限にする相対向する力の対を生成するステップと、
から構成され、

前記与えられたシミュレートされた力の対、および前記相対向する力の対は、所定の大きさおよび方向に関する拘束条件を満たしていることを特徴とする方法。

【請求項 2 1】

前記パターン形成デバイスに結合することによって、前記相対向する力の対を生成するように構成されたアクチュエータに送るための信号を生成するステップをさらに含むことを特徴とする請求項 2 0 に記載の方法。

【請求項 2 2】

前記大きさおよび方向に関する拘束条件は、前記パターン形成デバイスの直交面にある両軸における力の総和がゼロになること、前記両軸に対し直交するある 1 つ軸に関するモーメントの総和がゼロになることを含むことを特徴とする請求項 2 0 に記載の方法。

【請求項 2 3】

前記材料の特性モデルは、パターン形成デバイスを形成する材料に付随するヤング率とポアソン比を含むことを特徴とする請求項 2 0 に記載の方法。

【請求項 2 4】

前記空間特性は前記パターン形成デバイスのある有限要素モデルを有することを特徴とする請求項 2 0 に記載の方法。

【請求項 2 5】

前記パターン形成デバイスの前記モデルの前記記録パターン上にある前記フィーチャポイントに登録された動きと、前記適用されたシミュレートされた力の対との関係は、線形の関係であることを特徴とする請求項 2 0 に記載の方法。

【請求項 2 6】

前記パターン形成デバイスに前記力の対を与えるステップをさらに含むことを特徴とする請求項 2 0 に記載の方法。

【請求項 2 7】

前記力の対は前記パターン形成デバイスに結合されたアクチュエータを介して前記パターン形成デバイスに与えられることを特徴とする請求項 2 6 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、広義には、マイクロリソグラフィに関するものである。より詳しくは、本発明は、基板のパターニング時におけるアラインメントとオーバーレイを改善する技術に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

マイクロリソグラフィは、いくつものパターンの層を互いに重ね合わせながら基板に転写することが必要な集積回路の形成に用いられる。それ故、パターンの基板への転写は集積回路の製造においては重要な工程である。パターン転写技術は、光技術、バイオテクノロジー等においても用いられる。基板のパターニングに共通の技術として、フォトリソグラフィ法として知られている光リソグラフィプロセスがある。マスターパターンと呼ばれる原パターンがフォトマスク上に記録される。フォトマスクは、通常、熔融石英板で形成され、その中に高精度レーザまたは電子ビームを用いてパターンが記録される。フォトマスクパターンは、加工する基板の上面に塗工した感光性レジスト材に転写される。次に、基板をエッチングするが、その際、転写パターンを用いて、所望のパターンを基板に形成することができるようエッチングプロセスを制御する。これと異なるパターニングプロセスとして、型のトポグラフィが基板に転写されるパターンを形成するインプリントリソグラフィとして知られる技術がある。

【0 0 0 3】

上記のいずれのパターニングプロセスにおいても、限界寸法（CD）と呼ばれる最も小さいフィーチャの寸法を10ナノメートル（nm）以内に保つことが可能である。その結果、パターンを基板に問題なく転写するには、既に基板上にあるパターンのフィーチャとの精密な位置合わせが必要である。大まかな経験則では、パターン層が正しく機能するためには、そのパターン上のすべてのポイントとその下方にあるパターン上のすべてのポイントとの間に、パターンのCDの3分の1以内でアラインメントが確保されなければならないとされている。種々の技術ノードに関するオーバーレイ要求事項の情報を国際半導体技術ロードマップ（International Technology Roadmap for Semiconductors）のサイト<http://public.itrs.net>から入手することができる。転写パターンを正しく位置合わせする手段としてのプロセスをアラインメントと称する。正確なアラインメントを達成することによって、所望のパターンオーバーレイが達成される。詳しく言うと、少数のアラインメントマークの位置でアラインメントの正確さを測定する。この正確さが、パターニングツールにおけるアラインメントシステムの精度の尺度になる。

10

【0004】

パターン中の各ポイントのアラインメントの尺度であるオーバーレイの正確さは、アラインメントマークのある場所の他、パターニングするフィールドの随所で測定する。その結果、オーバーレイ情報は、アラインメント情報に関連した誤差情報の他の誤差情報をも含むことになる。例えば、オーバーレイ誤差は、レンズのひずみ、チャックに起因するウェーハの歪み、およびマスク/型（まとめてパターンデバイスと称する）上の画像配置設定誤差から生じ得、これらはアラインメントが正確でも大きなオーバーレイ誤差を引き起こすことがある。これらの誤差は、転写パターンにおけるひずみの原因となり、製造歩留まりを大きく低下させることになる。パターン間オーバーレイ誤差は、通常、フィールド内で格子をなすポイントの全体にわたってアラインメントを測定することにより定量化される。従来技術では、アラインメントマークがある場所でのアラインメント誤差を低減する試みがなされてきた。

20

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ホワイトラに許可された米国特許第6,847,433号には、マスクの像と既にウェーハ上にあるパターンとの間にいくつかの可能な発生源から生じるロングレンジ誤差（任意のリソグラフィ誤差、メトロロジエ誤差、オーバーレイ誤差のいずれの場合でもよい）を補正する変形可能ホルダー、システム、プロセスが開示されている。ロングレンジ誤差は、スルーザレンズ・アラインメント・メトロロジエシステム（through-the-lens alignment metrology system）あるいはアラウンドザレンズ・メトロロジエシステム（around-the-lens metrology system）を用いて求められる。変形値を求めてロングレンジ誤差を補償する。変形値は、連立法方程式を解くか、有限要素線形応力解析法（FEA）によって求められる。次に、圧電セラミックのようなアクチュエータを用いてマスクまたはウェーハを押すかあるいはこれらを引っ張ることにより、上に求めた変形値に関連した量だけマスクまたはウェーハに平面内でひずみを与え、マスクの投影像と既にウェーハ上にあるパターンとを実質的にアラインメントし直す。この方法は、アラインメントマークのある場所でのアラインメントを確実にするが、フィールド全体にわたるオーバーレイのアラインメントについては必ずしも確実ではない。パターンひずみを最小にしようとする上記や他の従来技術の試みについては、変形値を求めるための計算上の要求事項に付随する他の欠点があり、特にそれらの補正を時間の制約を伴ってリアルタイムで行わなければならない場合に障害となる。通常、変形値の算出は、大量の計算パワーが必要で、システムのコストを増大させる可能性があり、またしばしば不正確でもある。

30

40

【0006】

したがって、アラインメント誤差やオーバーレイ誤差を補正しかつ変形値を計算するための改良されたシステムおよび技術が必要とされている。

【課題を解決するための手段】

50

【0007】

本発明は、パターン形成デバイス上の記録パターンと基準パターンとの間の寸法変化を最小化するためにパターン形成デバイスに生じるであろう変形のパラメータを求めることを特徴とする方法およびシステムにある。そのために、本発明の方法は、前記記録パターンのフィーチャと前記基準パターンの対応フィーチャとの間の空間変化を比較するステップと、前記寸法変化を低減するために前記パターン形成デバイスに加える所定の拘束条件を伴う変形力を求めるステップと、を含むものである。本発明のシステムは、本発明の方法の機能を遂行するものである。これらおよびその他の実施形態について、以下より詳細に説明する。

【発明を実施するための最良の形態】

10

【0008】

図1において、10は本発明の一実施形態のリソグラフィシステムであり、このシステムはサポート16を有するステージ12を備える。サポート16は例えばペDESTALまたはチャック等で、その上に基板14が載置される。サポート16は、ステージ12に対して周知の機構を介し移動可能に結合するか、またはステージ12に固定取り付けすることができる。サポート16に対向させて、画像生成システム18が設けてある。画像生成システム18は、当技術分野で周知の任意のシステムを用いることができ、例えばドイツ国ミュンヘンのサス・マイクロテック (Suss Microtec) 社から入手可能なMA300Plus等のステッパに備えられているようなフォトリソグラフィシステム、あるいは米国テキサス州オースチンのモルキュラー・インプリント、インク、(Molecular Imprints, Inc.) 社が販売するImprio™250のようなインプリントリソグラフィ・パターンニングシステムを用いることが可能である。画像生成システム18は、基板14上に形成するパターンの元になる原パターンが作り込まれたパターン形成デバイス20、化学線エネルギー源、さらには化学線エネルギーをパターン形成デバイスを通して基板14に入射させるために必要な光学サブシステム (全体を光学素子22として示す) を備える。フォトリソグラフィシステムにおいては、パターン形成デバイス20は通常マスクである。インプリントリソグラフィシステムにおいては、パターン形成デバイス20は、一般に型と呼ばれるテンプレートのパターンニングされた領域である。

20

【0009】

30

図1および2を参照して、パターン形成デバイス20の周囲には、アラインメントとオーバーレイレジストレーション (オーバーレイ位置合わせ) を容易にするアクチュエータシステム24が設けられている。そのため、システム10は、フレーム28とパターン形成デバイス20との間に結合された複数のアクチュエータ26を備え、この実施形態では、パターン形成デバイス20は、通常インプリントリソグラフィと関連する型30が一体状に形成された溶融石英テンプレートよりなる。型30は、例えば凹部や凸部等のフィーチャを有する場合もある。各アクチュエータ26は、パターン形成デバイス20の4面32、34、36、38の中の1面に力を作用させやすいように設けてある。これら複数のアクチュエータ26は、相対向する面に互いに等しい数だけ設けてある。詳しく言うと、アクチュエータ26は、パターン形成デバイス20の相対向する面のアクチュエータ同士を互いに対として配設し、その場合各一对の各アクチュエータ26がその対のもう一つのアクチュエータ26の対向位置に来るよう配設することが求められる。アクチュエータ26動作は、パターン生成システム18、ペDESTAL (サポート) 16、ステージ12の動作と共に、これらと通信するプロセッサ40の制御で行われる。そのための制御プログラムがコンピュータ可読コードとして記憶装置42に記憶されている。記憶装置42はプロセッサ40とデータ通信し、プロセッサ40が制御プログラムを実行することによって制御信号を発生し、アクチュエータ26に送信するようになっている。

40

【0010】

図1および2において、アクチュエータシステム24は、パターン形成デバイス20を

50

選択的に変形させることによってアラインメントとオーバーレイレジストレーションをしやすくする。これによって、パターン形状の種々のパラメータ、すなわち、拡大特性、スキュー（斜交）／直交特性、台形特性等の補正が容易になる。拡大特性は、例えば、パターン全体が正方形から矩形に変化するというような拡大誤差である。スキュー／直交特性は、例えば、相隣る辺が互いに直角ではなく斜角または鈍角をなすスキュー／直交性誤差である。台形特性とは、例えば、正方形／矩形台形が不等辺四辺形の形状になるような台形誤差である（ここで不等辺四辺形は米国／アメリカの定義によるものとし、台形を含む）。パターン形状を制御するために、アクチュエータ26によってパターン形成デバイス20を選択的に変形させることにより、パターンまたは画像の歪みがあれば、それを解消できないまでも最小にすることにより、オーバーレイ誤差を小さくすることができる。10

そのためには、周知の画像配置設定システムまたは画像レジストレーションシステム、例えば米国イリノイ州バノックバーンのライカ・マイクロシステムズ社から入手可能なLMS I PRO 3を用いてパターン形成デバイス20を検査する。パターン形成デバイス20上のフィーチャ位置に関する測定情報44は、例えば記憶装置42にマッピングすることになる。測定情報44が表すフィーチャは、オーバーレイとアラインメント法を容易にするためのパターン形成デバイス20上にある基準マークである。これらのフィーチャとしては、ボックス・イン・ボックスマーク、クロスイン・クロスマークおよび／または副尺マークのような周知の任意のアラインメントマークがあり、オーバーレイフィーチャと称する。これらのオーバーレイフィーチャは、スペース的に可能な限り、通常パターン形成デバイス20の異なる領域に置かれ、矩形格子状他の多角形状に配置される。20

【0011】

記憶装置42には、測定情報44を比較する基準を与える基準情報42をロードすることもある。基準情報46には、例えば、オーバーレイフィーチャ、したがってパターン形成デバイス20上のパターンの最適位置あるいは所望位置に関する情報を含めることになる。この情報は、パターン形成デバイス20を測定する基準として用いることが可能な現行の基準パターン形成デバイス（図示省略）から得ることができる。別の態様として、基準情報46は、パターン形成デバイス20上にパターンを形成するために用いられるGDSファイルから得ることも可能である。パターン形成デバイス20上のパターンの誤差あるいはひずみが書き込みやエッチングプロセスに起因すると考えれば、コンピュータ支援設計ソフトウェアで使用するタイプのコンピュータデータによって、最適パターンを30最も正確に反映する基準情報46を得ることが可能である。このような典型的なコンピュータデータとしては、米国カリフォルニア州マウンテンビューのシノプシス、インク。（Synopsis, Inc.）社が販売するCATSTMソフトウェアで使用されているコンピュータデータがある。

【0012】

図2および3において、記憶装置42は、測定情報44と基準情報46との比較を容易にするルーチン48も記憶する。ルーチン48は、測定情報44におけるフィーチャと基準情報46における対応フィーチャとの間のX軸方向とY軸方向の位置変動に関するルーチンを含み、次表に示す画像配置設定の変動データを生成する。

【表 1】

ポイント	X (μm)	Y (μm)		ポイント	X (μm)	Y (μm)
1	0.01	-0.012		19	-0.008	0.007
2	0	-0.003		20	-0.022	0.013
3	-0.003	-0.001		21	-0.024	0.017
4	0.013	-0.013		22	-0.011	0.012
5	0.016	-0.016		23	-0.005	0
6	0.018	-0.014		24	0.001	0
7	0.012	-0.012		25	0.01	-0.001
8	-0.001	-0.001		26	-0.006	0.006
9	-0.012	-0.004		27	-0.006	0.012
10	-0.001	-0.007		28	0.003	0
11	0.005	-0.014		29	0.012	-0.006
12	0.009	-0.013		30	0.016	-0.005
13	-0.004	-0.004		31	0.011	-0.01
14	-0.017	0.005		32	0.002	-0.001
15	-0.02	0.01		33	-0.005	0.004
16	-0.01	-0.002		34	0.011	-0.003
17	-0.007	-0.008		35	0.016	-0.011
18	0	-0.007		36	0.019	-0.006

画像配置設定の変動データ表

画像配置設定の誤差（変動）表のデータから、ひずみベクトル 50 を生成する。ひずみベクトル 50 は、測定情報 44 に関連したオーバーレイフィーチャの基準情報 46 に関連した対応オーバーレイフィーチャに対する空間位置の差のベクトル表現である。このため、ひずみベクトル 50 は、パターン形成デバイス 20 上のパターンのフィーチャの空間位置 54 に関する記憶装置 42 にマッピングされたデータ 52 からなる。画像配置設定の変動データから生成される典型的なひずみベクトル 50 は、下記のように、各フィーチャの X 軸方向と Y 軸方向変動を特定の指示するフィーチャ 1 で始まりフィーチャ 36 で終わるデータシリーズとして記憶装置にマッピングする。{0.01, -0.012, 0, -0.003, ..., 0.019, -0.006}

【0013】

空間位置 54 は、パターン形成デバイス 20 上のオーバーレイフィーチャの空間位置を表す。データ 52 は、測定情報 44 と基準情報 46 との差の方向特性と大きさ特性を含む。詳しく言うと、データ 52 には、パターン形成デバイス 20 上の各オーバーレイフィーチャの空間位置 54 と最適／所望のパターンの対応するオーバーレイフィーチャの空間位置との間の直交する 2 軸方向沿いの距離に関する情報が入っている。

【0014】

プロセッサ 40 は、ルーチン 48 を実行してひずみベクトル 50 に関するデータを処理し、信号を発生するが、アクチュエータ 26 はその信号を検出してパターン形成デバイス 20 を選択的に変形させることにより、測定情報 44 と基準情報 46 との間の差を解消はしないまでも低減し、これによってパターン形成デバイス上のパターンの最適／所望パターンに対するオーバーレイ変動を最小化する。測定情報 44 に関連したオーバーレイフィーチャと基準情報 46 に関連した対応するオーバーレイフィーチャとの間の距離は、空間位置 54 の並進運動を作り出すことにより最小限に抑えられる。そのため、ルーチン 48 は、パターン形成デバイス 20 を選択的に変形させるためにアクチュエータで加える荷重を下記の逆変換関数を解くことにより求める。

$$[A]\{f\} = \{u\} \quad (1)$$

式中、 $[A]$ はパターン形成デバイス 20 について指定すべきコンプライアンス行列を表し、 $\{f\}$ は要素 f_i の 1 次元行列で、力ベクトルと称する（ i は 1 ～ m の整数、 m は力の対の数）。力ベクトル $\{f\}$ の要素 f_i は重み係数で、これから所望の荷重が求まる。 $\{u\}$ は、測定情報 44 に関連したフィーチャが基準情報 46 における対応フィーチャ

の空間位置と合致するまでに経なければならない空間並進を表す。すなわち、 $\{u\}$ はひずみベクトル 50 の加法に関する逆元を表す。コンプライアンス行列 $[A]$ が求まったならば、上式から力ベクトル $\{f\}$ が求まる。プロセッサ 40 は、アクチュエータ 26 に力ベクトル $\{f\}$ の関数である必要荷重をパターン形成デバイス 20 へ加えさせるための信号を発生する。このようにして、パターン形成デバイス 20 のひずみは、解消はされないにしても最小化される。

【0015】

コンプライアンス行列 $[A]$ は、パターン形成デバイス 20 を形成する材料の関数である。詳しく言うと、コンプライアンス行列 $[A]$ は、一部、パターン形成デバイス 20 を形成する材料に付随したヤング率とポアソン比によって定義される。この実施形態ではパターン形成デバイス 20 は溶融石英で形成されているが、水晶、サファイヤ、ケイ素、金属等で形成することも可能である。コンプライアンス行列 $[A]$ を求める一つの方法は、有限要素解析法 (FEA) を採用している。そのためには、商品名 Pro/EngineerTM で販売されているソフトウェアや商品名 Pro/MechanicaTM で販売されている有限要素解法ソフトウェアのような周知の任意のモデル化技術を用いて、パターン形成デバイス 20 の FEA モデル (モデル化デバイス 56 と称する) を生成し、記憶装置に保存する。

【0016】

FEA 法を用いて、アクチュエータ 26 による荷重負荷シミュレーションに応答するモデル化デバイス 56 における複数の各データポイント 58 の空間変位測定値を得る。空間位置 58 は、モデル化デバイス 56 上のパターンのオーバーレイフィーチャの空間位置を表す。有用な情報を得るために、データポイント 58 が関連するオーバーレイフィーチャは、空間位置 54 に関連したパターン形成デバイス 20 の同じフィーチャに対応する。この実施形態においては、各データポイント 58 は空間位置 54 の中の 1 つの位置と関連づけられ、その場合に、各データポイント 58 が他のデータポイント 58 に関連した空間位置 54 と異なる 1 つの空間位置 54 と対応するようになっている。

【0017】

コンプライアンス行列 $[A]$ を求めるときには、一対のアクチュエータが、下記の条件が満たされるように力とモーメントの均衡を保つよう、互いに向きが反対の等しい力を加えるものと仮定する。

$$\Sigma F_x = 0 \quad (2)$$

$$\Sigma F_y = 0 \quad (3)$$

$$\Sigma M_z = 0 \quad (4)$$

式中、 F_x は X 軸方向の力、 F_y は Y 軸方向の力、 M_z は Z 軸回りのモーメントである。各データポイント 58 について、X 軸および Y 軸方向の変位は次式で定義することができる。

$$X_n = f_1 x_{1n} + f_2 x_{2n} + \dots + f_m x_{mn} \quad (5)$$

$$Y_n = f_1 y_{1n} + f_2 y_{2n} + \dots + f_m y_{mn} \quad (6)$$

式中、 f_i はアクチュエータ対 i から加わる力の大きさであり、 n はデータポイントを示し、 x_{in} 、 y_{in} はアクチュエータ対 i からの単位力に応動したデータポイント n の X 軸、Y 軸方向の移動量をミリメートル／ニュートンで表す。この実施形態においては、 n は 1 ～ 4 の整数、 i は 1 ～ 8 の整数である。オーバーレイフィーチャが 4 つの場合に、前記式 (2) ～ (6) で与えられる条件に基づく典型的なコンプライアンス行列 $[A]$ を下記に示す。

$$A = 1e-5^* \begin{bmatrix} -0.0350 & -0.3316 & -0.6845 & -0.4965 & 0.4924 & 0.2550 & 0.2025 & -0.5387 \\ 0.4923 & 0.2551 & 0.2028 & -0.5388 & -0.0349 & -0.3316 & -0.6845 & -0.4957 \\ 0.0311 & 0.3313 & 0.6848 & 0.4965 & 0.5387 & -0.2034 & -0.2557 & -0.4926 \\ 0.4930 & 0.2550 & 0.2026 & -0.5389 & -0.4989 & -0.6846 & -0.3310 & -0.0323 \\ 0.4992 & -0.6846 & -0.3310 & -0.0329 & 0.4931 & 0.2549 & 0.2025 & -0.5388 \end{bmatrix}$$

0.5385 -0.2033 -0.2556 -0.4925 0.0313 0.3313 0.6848 0.4973
 0.4938 0.6847 0.3318 0.0333 0.5393 -0.2036 -0.2560 -0.4925
 0.5393 -0.2034 -0.2559 -0.4927 0.4941 0.6846 0.3319 0.0338

【0018】

コンプライアンス行列 $[A]$ が既知であれば、ルーチン48は、オーバーレイ誤差を最小化するためにアクチュエータ26に発生させる力の大きさを力ベクトル $\{f\}$ の形で求めることができる。具体的には、ルーチン48は前記の式(1)から力ベクトル $\{f\}$ を次式のように解く。

$$\{f\} = [A]^{-1} \{u\} \quad (7)$$

式中、 $[A]$ は正方行列である。 $[A]$ が正方行列でない場合、すなわちコンプライアンス行列 $[A]$ の行数(行数 = $2 \times$ データポイント数)が力の対の数(列数 = 力の対の数)より大きい場合、上式(7)は次のように表される。

$$\{f\} = \{A^T A\}^{-1} A^T \{u\} \quad (8)$$

式中、 A^T はコンプライアンス行列 $[A]$ の転置行列である。

【0019】

しかしながら、大きさや方向のような一定の定義済み拘束条件を満たす力ベクトル $\{f\}$ をルーチン48に求めさせたい場合がある。例えば、張力を加えるためには、好ましくない機械的結合、例えばアクチュエータ26の中の1つをパターン形成デバイス20に接着するなどによってオーバーレイ調節を行う必要が生じ得るので、張力の利用は避けることが望ましい場合がある。

【0020】

さらに、張力を用いるか圧縮力を用いるかにかかわらず、パターンニングデバイスの構造的完全性を危うくする可能性のある余分な力を最小限に抑えることが望ましいことも考えられる。そのために求められるのは、ルーチン48に力ベクトル $\{f\}$ を下記の拘束条件で求めさせることである。

$$F_i \geq 0 \quad (9)$$

$$f_i \leq f_{\max} \quad (10)$$

式中、 f_i は、上に説明したように、 $\{f\}$ ベクトルの要素である。ここで、慣用的に、正の要素 f_i はパターン形成デバイス20にかかる圧縮荷重を表すものとする。ルーチン48は、パターンニングデバイス20の材料の既知の機械的性質から力の最大限 $f_{\max}$ を計算することができる。上記の式(9)と(10)で与えられる拘束条件によって、前出の式(1)は下記のように変形することができる。

$$[A] \{f\} - \{u\} = \{e\} \quad (11)$$

それ故、問題は、誤差ベクトル $\{e\}$ が最小となるような力ベクトル $\{f\}$ を見つけることになる。 $[A]$ は上に説明したコンプライアンス行列である。ルーチン48は、次式によって与えられる無限ノルム上で誤差ベクトル $\{e\}$ を最小化することができる。

$$\max(|[A] \{f\} - \{u\}|) \quad (12)$$

無限ノルムを最小化することを選択する理由は、オーバーレイ誤差の絶対値の大きさがパターン層が役に立つかどうかを決定すると考えられているためである。前に述べたように、パターン層が所期の通り機能するためには、最大オーバーレイ誤差はパターンの最小フィーチャサイズの3分の1より小さくなければならないと考えられている。それ故、上の式(9)と(10)で与えられる拘束条件の下で、ルーチン48に最大絶対誤差、すなわち無限ノルムを下記のように最小化させることが求められる。

$$\min(|\max[A] \{f\} - \{u\}|) \quad (13)$$

【0021】

目的関数(13)は、決定変数、すなわち力 f_i に関して区分的に線形性の凸関数である。区分的に線形性の凸関数は、定義によれば非線形である。したがって、その集合の中の差の変域にはいくつかの極小が含まれる。ルーチン48に、全域的最小、すなわち上式(13)を上式(9)および(10)の拘束条件下で解くことにより得られる最小値を見付けさせることが求められる。そのためには、ルーチン48は、一定範囲の試行/推定開

10

20

30

40

50

始ベクトルでいくつかの反復処理を行うと共に、方向探索ルーチンを実行することが必要な場合がある。本発明による代表的な反復法は、関数値を計算する始点から開始される。この反復法は、関数がより低い値を取る解を繰り返し求めることにより行われる。その結果、ルーチン 48 は、収束点が見つかるまでその関数に関する情報を計算することになる。ルーチン 48 は、許容範囲内の関数値の減少がそれ以後見られない最小値で反復法を終了する。

【0022】

ニュートン・ラフソン法、共役勾配法、疑似ニュートン法のような周知の任意の反復方向探索法等の技術を用いて最適な力ベクトル $\{f\}$ を得ることができる。これらの技術を実施する 1 つの方法は、記憶装置 42 に保存したマイクロソフトエクセルを、マイクロソフト・コーポレーション社から入手可能な WINDOWS（登録商標）のような標準のオペレーティングシステムを用いてプロセッサ 40 により実行する方法である。前に説明した有限要素解析法で得られたデータを行列形式でコレートして入力し、それらの行列同士を例えば前出の式 (1) によって適切に関係づける。

【0023】

力ベクトル $\{f\}$ の計算法を改善する 1 つの方法は、非線形方程式 (13) を線形の問題に変換することによる方法である。そのためには、式 (11) を式 (13) に代入する。すると、ルーチン 48 は、シリーズをなすデータ 52 について式 (13) を下記のように表すことができる。

$$\text{Minimize} (\text{Maximum} (|e_1|, |e_2| \cdots |e_n|)) \quad (14)$$

式中、 e_i は誤差ベクトル $\{e\}$ の要素である。ルーチン 48 を用いて式 (14) を展開すると、次式が得られる。

$$\text{Minimize} (\text{Maximum } e_1, -e_1, e_2, -e_2, \cdots e_n, -e_n) \quad (15)$$

ルーチン 48 によって $(\text{Maximum } e_1, -e_1, e_2, -e_2, \cdots e_n, -e_n)$ に変数 w を代入すると、式 (15) は下記のように書くことができる。

$$\text{Minimize } (w) \quad (16)$$

そして、下記の拘束条件が得られる。

$$w \geq e_i \quad (17)$$

$$w \geq -e_i \quad (18)$$

【0024】

すなわち、ルーチン 48 は、式 (16) として表された非線形方程式 (13) を、前出の式 (1)、(9)、10 の拘束条件に加えて下記の拘束条件で解くことができる。

$$w \geq [A] \{f\} - \{u\} \quad (19)$$

$$w \geq \{u\} - [A] \{f\} \quad (20)$$

式 (13) を線形問題として変形する利点は、線形問題は、シンプレクス法（単体法）のような疑似多項式アルゴリズムの下では有限のステップ数で全域的最小に収束するということである。これによって、ルーチン 48 が全域的最小を求めるのに要する計算パワーが最小化される。反復探索技術もなおかつ使用することができる。また、ほとんどの場合、非線形プログラミング法は、注意深くチェックしない限り、局所最適解に収束する。このことは、EXCEL（商標）で非線形問題を解こうとするとときに起きることが認められている。それ故、線形問題として変形した式 (13) は、データ 52 中の最小値を得やすくする一方で、必要な計算パワーを最小限に抑えることを可能にするものである。

【0025】

以上、本発明の代表的な実施形態について説明した。上に記載した開示技術に対しては、本発明の範囲を逸脱することなく多くの変更および修正をなすことが可能である。例えば、前述の方法は、インプリントリソグラフィの場合における拡大誤差、直交性誤差および台形誤差のような画像配置設定特性およびその他の特性から生じるオーバーレイ誤差を、完全に解消しないまでも、低減する技術について説明した。例えば光リソグラフィの場合で、拡大誤差、直交性および／または台形誤差が他の方法では解消あるいは補正されない場合に、上に説明した本発明を使用してそれらの補正されていないオーバーレイ誤差を

10

20

30

40

50

最小化することができる。したがって、本発明の範囲は、上記説明によって限定するべきではなく、特許請求の範囲と共にその全般的均等物に基づいて決定するべきである。

【図面の簡単な説明】

【0026】

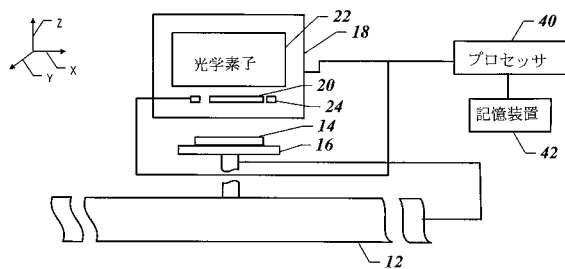
【図1】 本発明のリソグラフィシステムの概略図である。

【図2】 本発明におけるいずれも図1に示すホルダとパターン形成デバイスの概略平面図である。

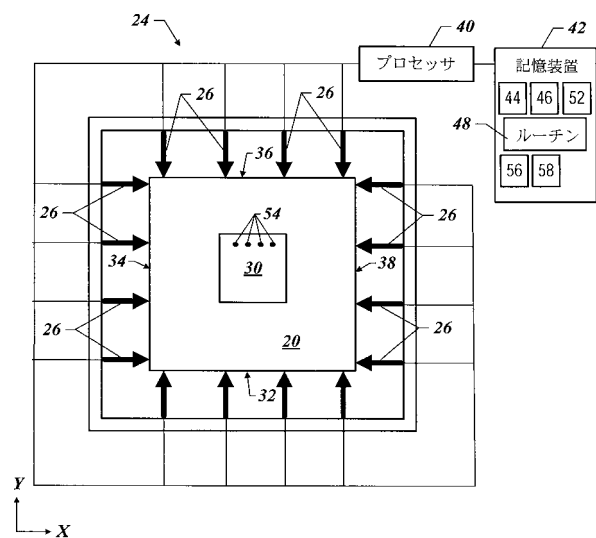
【図3】 本発明により求めたひずみベクトルを示すリソグラフィシステムの概略図である。

。

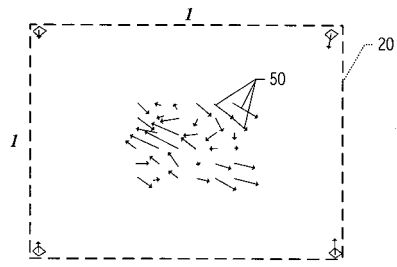
【図1】



【図2】



【図 3】



フロントページの続き

- (72)発明者 スリニーヴァッサン, シトルガタ・ヴィ
アメリカ合衆国・78750・テキサス州・オースティン・グラント オーク ドライブ・105
02
- (72)発明者 アドゥスミリ, クランズィミトラ
アメリカ合衆国・78731・テキサス州・オースティン・ウッド ハロウ ドライブ・7201
・アパートメント 393

審査官 植木 隆和

- (56)参考文献 米国特許出願公開第2003/0081193 (US, A1)
特開平06-349702 (JP, A)
特開平09-211872 (JP, A)
特開2003-7597 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 21/027
G03F 7/20