

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5864752号
(P5864752)

(45) 発行日 平成28年2月17日 (2016. 2. 17)

(24) 登録日 平成28年1月8日 (2016. 1. 8)

(51) Int. Cl.		F I			
GO3F	9/02	(2006.01)	GO3F	9/02	H
GO1B	11/00	(2006.01)	GO1B	11/00	H

請求項の数 18 (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2014-527573 (P2014-527573)	(73) 特許権者	504151804
(86) (22) 出願日	平成24年8月9日 (2012. 8. 9)		エーエスエムエル ネザーランズ ビー、 ブイ、 オランダ国 ヴェルトホーフエン 550 0 エーエイチ、 ビー、 オー、 ボックス 324
(65) 公表番号	特表2014-529903 (P2014-529903A)	(74) 代理人	100079108
(43) 公表日	平成26年11月13日 (2014. 11. 13)		弁理士 稲葉 良幸
(86) 国際出願番号	PCT/EP2012/065599	(74) 代理人	100109346
(87) 国際公開番号	W02013/029957		弁理士 大貫 敏史
(87) 国際公開日	平成25年3月7日 (2013. 3. 7)	(72) 発明者	キステマン, アレンド
審査請求日	平成26年4月11日 (2014. 4. 11)		オランダ国, アイントホーフエン エヌエ ル-5644 ピーエス, シエナラーン 43
(31) 優先権主張番号	61/529, 586		
(32) 優先日	平成23年8月31日 (2011. 8. 31)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 焦点補正を決定する方法、リソグラフィ処理セル及びデバイス製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

リソグラフィ投影装置の焦点補正を決定する方法であって、
試験基板上的複数のグローバル補正マークの各々について焦点依存特性を測定してフィールド間焦点変動情報を決定するステップと、
前記フィールド間焦点変動情報からフィールド間焦点補正を計算するステップと、
前記試験基板上的複数のフィールド内補正マークの各々について焦点依存特性を測定してフィールド内焦点変動情報を決定するステップと、
前記フィールド内焦点変動情報からフィールド内焦点補正を計算するステップと、を含み、

前記グローバル補正マークが複数のグローバル補正フィールド内に配置され、各グローバル補正フィールドがフィールド全体にわたって傾斜した焦点オフセットで露光されており、
前記フィールド内補正マークが複数のフィールド内補正フィールド内に配置され、各フィールド内補正フィールドがフィールド全体にわたって傾斜した焦点オフセットで露光されており、

フィールド間効果とフィールド内効果の両方の補正が得られるように、前記フィールド内焦点補正を決定するために前記フィールド間焦点変動情報が用いられ、又は前記フィールド間焦点補正を決定するために前記フィールド内焦点変動情報が用いられる、方法。

【請求項2】

前記グローバル補正マークは、各グローバル補正フィールド内のサブセットに配置され

、前記傾斜した焦点オフセットによって、各サブセットについて、各グローバル補正マークが異なる焦点オフセットで露光され、前記焦点オフセットが前記サブセットに沿って略直線的に変化し、

前記サブセットの各々について最適な焦点が決定される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記グローバル補正マークの前記露光焦点オフセットに対する前記サブセットに含まれる各グローバル補正マークの各測定された焦点依存特性をプロットし、前記焦点依存特性への焦点感度が最小になる場所を決定することによって、各サブセットの前記最適な焦点が決定される、請求項 1 又は請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記焦点依存特性は、クリティカルディメンションに関連する、請求項 1 乃至請求項 3 のうち何れか 1 項に記載の方法。

【請求項 5】

リソグラフィ投影プロセスで使用するための焦点補正を決定するリソセルであって、前記装置は、

試験基板上で、各々が複数のグローバル補正マークを含む複数のグローバル補正フィールドを、各フィールド全体にわたって傾斜した焦点オフセットで露光するとともに、各々が複数のフィールド内補正マークを含む複数のフィールド内補正フィールドを、各フィールド全体にわたって傾斜した焦点オフセットで露光するように動作可能なリソグラフィ装置と、

前記複数のグローバル補正マークの各々について焦点依存特性を測定するとともに、前記複数のフィールド内補正マークの各々について焦点依存特性を測定するように動作可能な検査装置と、

前記複数のグローバル補正マークの各々について前記測定された焦点依存特性からフィールド間焦点変動情報を決定し、前記フィールド間焦点変動情報からフィールド間焦点補正を計算するとともに、前記複数のフィールド内補正マークの各々について前記測定された焦点依存特性からフィールド内焦点変動情報を決定し、前記フィールド内焦点変動情報からフィールド内焦点補正を計算するように動作可能なプロセッサと、を備え、

前記プロセッサは、フィールド間効果とフィールド内効果の両方の補正を得るために、前記フィールド間焦点変動情報を用いて前記フィールド内焦点補正を決定し、又は前記フィールド内焦点変動情報を用いて前記フィールド間焦点補正を決定するように構成されている、リソセル。

【請求項 6】

前記リソグラフィ装置は、前記グローバル補正マークが各グローバル補正フィールド内のサブセットに配置されるようにかつ前記グローバル補正フィールドを露光するように動作可能であり、前記傾斜した焦点オフセットによって、各サブセットについて、各グローバル補正マークが異なる焦点オフセットで露光され、前記焦点オフセットが前記サブセットに沿って略直線的に変化し、

前記プロセッサは、前記サブセットの各々について最適な焦点を決定するように動作可能である、請求項 5 に記載のリソセル。

【請求項 7】

前記プロセッサは、前記グローバル補正マークの前記露光焦点オフセットに対する前記サブセットに含まれる各グローバル補正マークの各測定された焦点依存特性をプロットし、前記焦点依存特性への焦点感度が最小になる場所を決定することによって、各サブセットの前記最適な焦点を決定するように動作可能である、請求項 5 又は請求項 6 に記載のリソセル。

【請求項 8】

前記焦点依存特性は、クリティカルディメンションに関連する、請求項 5 乃至請求項 7 のうち何れか 1 項に記載のリソセル。

【請求項 9】

10

20

30

40

50

リソグラフィ投影装置の焦点補正を決定する方法であって、前記方法は、
複数のフィールド内補正フィールド内に配置され、変動する焦点を用いて露光されている、試験基板上の複数のフィールド内補正マークの各々の焦点依存特性を測定してフィールド内焦点変動情報を決定するステップと、

前記フィールド内焦点変動情報から前記フィールド内焦点補正を計算するステップと、
を含み、

前記フィールド内焦点補正を計算するステップは、スキャンアップ - スキャンダウン効果を考慮するステップを含み、それによって、測定されたパラメータがリソグラフィプロセス中の前記スキャン方向の依存性の変動を示す、方法。

【請求項 10】

前記フィールド内焦点補正を計算するステップは、各フィールド内の場所での平均フィールド内焦点オフセットと、各フィールド内の場所でのスキャンアップ - スキャンダウン効果から生じる差と、によって、前記フィールド内焦点変動情報をモデル化するステップを含む、請求項 9 に記載の方法。

【請求項 11】

前記フィールド内焦点補正を計算するステップは、格子プレートが前記リソグラフィ装置の一部を形成する結果として誘導される格子プレート焦点誤差を別に考慮するステップを含む、請求項 9 又は請求項 10 に記載の方法。

【請求項 12】

前記格子プレート焦点誤差がウェーハ象限ごとに誘導され、

前記フィールド内焦点補正を計算するステップは、フィルタを用いて、前記格子プレート焦点誤差を含むフィールド内焦点変動情報をモデル化して前記試験基板の特定の象限をフィルタリングするステップを含む、請求項 11 に記載の方法。

【請求項 13】

リソグラフィ投影プロセスで使用するための焦点補正を決定するリソセルであって、前記装置は、

試験基板上に、複数のフィールド内補正フィールドに配置され、フィールドごとに擬似ランダム化焦点及びドーズ量設定で露光されている複数のフィールド内補正マークを露光するように動作可能なリソグラフィ装置と、

前記複数のフィールド内補正マークの各々について焦点依存特性を測定するように動作可能な検査装置と、

前記測定された焦点依存特性からフィールド内焦点変動情報を決定し、前記フィールド内焦点変動情報からフィールド内焦点補正を計算するように動作可能なプロセッサと、を備え、

フィールド内焦点補正を計算することが、スキャンアップ - スキャンダウン効果を考慮することを含み、それによって、測定されたパラメータがリソグラフィプロセス中の前記スキャン方向の依存性の変動を示す、リソセル。

【請求項 14】

前記プロセッサは、各フィールド内の場所での前記平均フィールド内焦点オフセットと、各フィールド内の場所でのスキャンアップ - スキャンダウン効果から生じる差と、によって、前記フィールド内焦点変動情報をモデル化するようにさらに動作可能である、請求項 13 に記載のリソセル。

【請求項 15】

前記プロセッサは、格子プレートが前記リソグラフィ装置の一部を形成する結果として誘導される格子プレート焦点誤差を別に考慮するように動作可能である、請求項 13 又は請求項 14 に記載のリソセル。

【請求項 16】

前記格子プレート焦点誤差がウェーハ象限ごとに誘導され、

前記プロセッサは、前記格子プレート焦点誤差を含むフィールド内焦点変動情報をモデル化することによって前記フィールド内焦点補正を計算して前記試験

10

20

30

40

50

基板の特定の象限をフィルタリングするように動作可能である、請求項 15 に記載のリソセル。

【請求項 17】

好適な装置上で実行されると請求項 1 乃至請求項 4 のうち何れか 1 項に記載の方法を実行するように動作可能なプログラム命令を含む、コンピュータプログラム。

【請求項 18】

好適な装置上で実行されると請求項 9 乃至請求項 12 のうち何れか 1 項に記載の方法を実行するように動作可能なプログラム命令を含む、コンピュータプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

関連出願の相互参照

[0001] 本出願は、2011年8月31日出願の米国仮特許出願第61/529,586号の利益を主張し、全体を参照により本明細書に組み込むものとする。

【0002】

[0002] 本発明は、例えば、リソグラフィ技術によるデバイス製造において利用可能な検査方法に関する。

【背景技術】

【0003】

[0003] リソグラフィ装置は、所望のパターンを基板に、通常は基板のターゲット部分に適用する機械である。リソグラフィ装置は、例えば、集積回路（IC）の製造に使用可能である。このような場合、代替的にマスク又はレチクルとも呼ばれるパターンングデバイスを使用して、ICの個々の層上に形成すべき回路パターンを生成することができる。このパターンを、基板（例えばシリコンウェーハ）上のターゲット部分（例えば1つ又は幾つかのダイの一部を含む）に転写することができる。パターンの転写は通常、基板に設けた放射感応性材料（レジスト）の層への結像により行われる。一般的に、1枚の基板は、順次パターンが与えられる隣接したターゲット部分のネットワークを含んでいる。従来のリソグラフィ装置は、パターン全体をターゲット部分に1回で露光することによって各ターゲット部分が照射される、いわゆるステップと、基板を所与の方向（「スキャン」方向）と平行あるいは逆平行に同期的にスキャンしながら、パターンを所与の方向（「スキャン」方向）に放射ビームでスキャンすることにより、各ターゲット部分が照射される、いわゆるスキャナとを含む。パターンを基板にインプリントすることによっても、パターンングデバイスから基板へとパターンを転写することが可能である。

20

30

【0004】

[0004] リソグラフィプロセスを監視するために、パターン形成された基板のパラメータが測定される。パラメータは、例えば、パターン形成された基板内又は基板上に形成された連続する層間のオーバーレイ誤差と、現像された感光性レジストの限界線幅と、を含んでもよい。この測定は、製品基板及び/又は専用のメトロロジーターゲット上で実行できる。走査型電子顕微鏡及び様々な専用ツールの使用を含め、リソグラフィプロセスで形成された微細構造を測定するための様々な技術がある。専用のインスペクションツールの高速で非破壊的な形態が、放射ビームを基板表面上のターゲットに誘導し、散乱又は反射したビームの特性を測定するスカトロメータである。基板によって反射又は散乱する前後のビームの特性を比較することで基板の特性を決定できる。これは、例えば反射ビームを既知の基板特性に関連付けられた既知の測定値のライブラリに記憶されたデータと比較することによって実行できる。2つの主要なタイプのスカトロメータが知られている。分光スカトロメータは、広帯域放射ビームを基板上に誘導し、特定の狭い角度範囲に散乱した放射のスペクトル（波長の関数としての強度）を測定する。角度分解スカトロメータは、単色放射ビームを使用して散乱した放射の強度を角度の関数として測定する。

40

【0005】

[0005] リソグラフィプロセスを用いたデバイス製造において、各マスクパターンは、通

50

常、合焦したターゲット部分上に投影される。実際、これは基板のターゲット部分が投影システムによって投影される空間像のベストフォーカス平面内に位置するということを意味する。リソグラフィにおけるクリティカルディメンション(CD)(すなわち、変動がトランジスタのゲート幅などのフィーチャの物理的特性の望ましくない変動を引き起こす1つ以上のフィーチャの寸法)が微細化するにつれて、基板全体及び基板間の両方での焦点の一貫性がますます重要になる。

【0006】

[0006] 焦点をモニタするためにアライメントシステムの使用が提案され、これは、様々な異なる焦点設定、すなわち、投影システムに対する基板の位置にある正常アライメントマーカに対する周知の位置にある印刷焦点感応性アライメントマーカを含む。正常アライメントマーカに対する焦点感応性アライメントマーカの位置が測定され、焦点誤差を表すアライメントオフセット(AO)を決定することができる。

10

【0007】

[0007] リソグラフィツールにおける焦点制御の品質の検証方法の1つは、レベリング検証試験(LVT)の使用である。LVT試験は上部に糊付けされたガラスウェッジを有する特殊なレチクルを用いて二重テレセントリックレンズ上に局所的に非テレセントリック照明を作成する。この非テレセントリック照明を用いてガラスウェッジの下に位置するXPAアライメントマークの空間像のデフォーカス z の関数としての x 、 y の横方向シフトが生成される。XPA基準マーク(ウェッジが上部にない状態で結像する)に対するこのデフォーカスマークのアライメントシフトを測定することで、露光時点のデフォーカスを決定できる。

20

【0008】

[0008] LVT試験の主要な欠点は、ウェーハの読み出しがリソグラフィツールそれ自体の上に存在するアライメントシステムによって実行されるので、生産に利用可能な時間が低減するという点である。

【0009】

[0009] 参照により本明細書に組み込まれるUS2009/013539号は、複数の検証フィールドを有する試験基板の露光を含む焦点の別の測定方法を提案する。検証フィールドの各々は複数の検証マーカを含み、検証フィールドは所定の焦点オフセットFOを用いて露光される。現像後、検証マーカの各々のアライメントオフセットが測定され、転位焦点曲線を用いてデフォーカスデータに変換される。この方法を用いれば、LVTと比較して最大50倍(通常、 $dX, Y / dZ = 20$)の焦点対アライメントシフト感度が得られる。

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

[0010] 従来技術の問題の1つ以上に対処するより良い焦点補正を決定することが望ましい。

【課題を解決するための手段】

【0011】

[0011] 本発明の一態様によれば、リソグラフィ投影装置の焦点補正を決定する方法であって、該方法が、

40

試験基板上の複数のグローバル補正マークの各々について焦点依存特性を測定してフィールド間焦点変動情報を決定するステップと、

上記フィールド間焦点変動情報からフィールド間焦点補正を計算するステップと、を含み、

上記グローバル補正マークが複数のグローバル補正フィールド内に配置され、各グローバル補正フィールドがフィールド全体にわたって傾斜した焦点オフセットで露光されている方法が提供される。

本発明の第2の態様によれば、リソグラフィ投影プロセスで使用するための焦点補正を

50

決定するリソセルであって、該装置が、試験基板上で、各々が複数のグローバル補正マークを含む複数のグローバル補正フィールドを、各フィールド全体にわたって傾斜した焦点オフセットで露光するように動作可能なリソグラフィ装置と、複数のグローバル補正マークの各々について焦点依存特性を測定するように動作可能な検査装置と、上記測定された焦点依存特性からフィールド間焦点変動情報を決定し、上記フィールド間焦点変動情報からフィールド間焦点補正を計算するように動作可能なプロセッサと、を備えるリソセルが提供される。

【 0 0 1 2 】

[0012] 本発明の別の態様によれば、リソグラフィ投影装置の焦点補正を決定する方法であって、該方法が、複数のフィールド内補正フィールド内に配置され、変動する焦点を用いて露光されている、試験基板上の複数のフィールド内補正マークの各々の焦点依存特性を測定するステップと、上記測定された焦点依存特性から、各フィールド内補正マークの場所についてフィールド内焦点変動情報を決定するステップと、上記フィールド内焦点変動情報から上記フィールド内焦点補正を計算するステップと、を含み、フィールド内焦点補正を計算するステップがスキャンアップ - スキャンダウン効果を考慮するステップを含み、それによって、測定されたパラメータがリソグラフィプロセス中の上記スキャン方向の依存性の変動を示す方法が提供される。

10

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 3 】

[0013] 対応する参照符号が対応する部分を示す添付の概略図を参照しながら以下に本発明の実施形態について説明するが、これは単に例示としてのものに過ぎない。

20

【 図 1 】 リソグラフィ装置を示す。

【 図 2 】 リソグラフィセル又はクラスタを示す。

【 図 3 】 第 1 のスキヤトロメータを示す。

【 図 4 】 第 2 のスキヤトロメータを示す。

【 図 5 】 本発明のある実施形態で使用可能なレチクルを示す。

【 図 6 】 傾斜フィールドで露光された基板を示す。

【 図 7 】 Ry 傾きがフィールド内の X 位置の関数としてのフィールドの 2 つの特定の並びのマークの Z 高さ位置を導入する方法の一例を示す。

【 図 8 】 1 つのフィールドのマークの 2 つの並びの焦点オフセットに対する $Mid - CD$ 測定値のグラフである。

30

【 図 9 】 複数のフィールドの平均フィールド全体占有面積の決定ステップを示す。

【 図 10 】 本発明のある実施形態による、計算されたウェーハ全体占有面積又はフィールド内占有面積を用いて側壁角度 (SWA) 測定値におけるプロセス又はレチクル関連の影響を補償する方法を示す。

【 図 11 a 】 本発明の実施形態による方法のフローチャートである。

【 図 11 b 】 本発明の実施形態による方法のフローチャートである。

【 図 11 c 】 本発明の実施形態による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 】

【 0 0 1 4 】

40

[0014] 図 1 は、リソグラフィ装置を概略的に示したものである。この装置は、

- 放射ビーム B (例えば UV 放射又は DUV 放射) を調節するように構成された照明システム (イルミネータ) IL と、

- パターニングデバイス (例えばマスク) MA を支持するように構築され、特定のパラメータに従ってパターニングデバイスを正確に位置決めするように構成された第 1 のポジション PM に接続された支持構造 (例えばマスクテーブル) MT と、

- 基板 (例えばレジストコートウェーハ) W を保持するように構築され、特定のパラメータに従って基板を正確に位置決めするように構成された第 2 のポジション PW に接続された基板テーブル (例えばウェーハテーブル) WT と、

- パターニングデバイス MA によって放射ビーム B に付与されたパターンを基板 W のタ

50

ターゲット部分C（例えば1つ以上のダイを含む）に投影するように構成された投影システム（例えば屈折投影レンズシステム）PLと、
を備える。

【0015】

[0015] 照明システムは、放射の誘導、整形、又は制御を行うための、屈折型、反射型、磁気型、電磁型、静電型等の光学コンポーネント、又はその任意の組合せなどの種々のタイプの光学コンポーネントを含んでいてもよい。

【0016】

[0016] 支持構造は、パターンングデバイスを支持、すなわちその重量を支えている。支持構造は、パターンングデバイスの方向、リソグラフィ装置の設計等の条件、例えばパターンングデバイスが真空環境で保持されているか否かに応じた方法で、パターンングデバイスを保持する。この支持構造は、パターンングデバイスを保持するために、機械式、真空式、静電式等のクランプ技術を使用することができる。支持構造は、例えばフレーム又はテーブルでよく、必要に応じて固定式又は可動式でよい。支持構造は、パターンングデバイスが例えば投影システムなどに対して確実に所望の位置に来るようにできる。本明細書において「レチクル」又は「マスク」という用語を使用した場合、その用語は、より一般的な用語である「パターンングデバイス」と同義と見なすことができる。

10

【0017】

[0017] 本明細書において使用する「パターンングデバイス」という用語は、基板のターゲット部分にパターンを生成するように、放射ビームの断面にパターンを与えるために使用し得る任意のデバイスを指すものとして広義に解釈されるべきである。ここで、放射ビームに与えられるパターンは、例えばパターンが位相シフトフィーチャ又はいわゆるアシストフィーチャを含む場合、基板のターゲット部分における所望のパターンに正確には対応しないことがある点に留意されたい。一般的に、放射ビームに与えられるパターンは、集積回路などのターゲット部分に生成されるデバイスの特定の機能層に相当する。

20

【0018】

[0018] パターンングデバイスは透過性又は反射性でよい。パターンングデバイスの例には、マスク、プログラマブルミラーアレイ、及びプログラマブルLCDパネルがある。マスクはリソグラフィにおいて周知のものであり、これには、バイナリマスク、レベンソン型(alternating)位相シフトマスク、ハーフトーン型(attenuated)位相シフトマスクのようなマスクタイプ、さらには様々なハイブリッドマスクタイプも含まれる。プログラマブルミラーアレイの一例として、小さなミラーのマトリクス配列を使用し、そのミラーは各々、入射する放射ビームを異なる方向に反射するよう個々に傾斜することができる。傾斜したミラーは、ミラーマトリクスによって反射する放射ビームにパターンを与える。

30

【0019】

[0019] 本明細書において使用する「投影システム」という用語は、使用する露光放射、又は液浸液の使用や真空の使用などの他の要因に合わせて適宜、例えば屈折型光学システム、反射型光学システム、反射型屈折光学システム、磁気型光学システム、電磁型光学システム及び静電型光学システム、又はその任意の組合せを含む任意のタイプの投影システムを網羅するものとして広義に解釈されるべきである。本明細書において「投影レンズ」という用語を使用した場合、これはさらに一般的な「投影システム」という用語と同義と見なすことができる。

40

【0020】

[0020] 本明細書で示すように、本装置は、（例えば透過マスクを使用する）透過タイプである。あるいは、装置は、（例えば上記で言及したようなタイプのプログラマブルミラーアレイを使用する、又は反射マスクを使用する）反射タイプでもよい。

【0021】

[0021] リソグラフィ装置は、2つ（デュアルステージ）又はそれ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）を有するタイプでよい。このような「マルチステージ」機械においては、追加のテーブルを並行して使用するか、1つ以上の他のテーブル

50

を露光に使用している間に1つ以上のテーブルで予備工程を実行することができる。

【0022】

[0022] リソグラフィ装置は、投影システムと基板との間の空間を充填するように、基板の少なくとも一部を水などの比較的高い屈折率を有する液体で覆えるタイプでもよい。液浸液は、例えばマスクと投影システムの間など、リソグラフィ装置の他の空間に適用することもできる。液浸技術は、投影システムの開口数を増加させるために当技術分野で周知である。本明細書で使用する「液浸」という用語は、基板などの構造を液体に沈めなければならないという意味ではなく、露光中に投影システムと基板の間に液体が存在するというほどの意味である。

【0023】

[0023] 図1を参照すると、イルミネータILは放射源SOから放射ビームを受ける。放射源とリソグラフィ装置とは、例えば放射源がエキシマレーザである場合に、別々の構成要素であってもよい。このような場合、放射源はリソグラフィ装置の一部を形成すると見なされず、放射ビームは、例えば適切な誘導ミラー及び/又はビームエキスパンダなどを備えるビームデリバリシステムBDを用いて、放射源SOからイルミネータILへと渡される。他の事例では、例えば放射源が水銀ランプの場合は、放射源がリソグラフィ装置の一体部分であってもよい。放射源SO及びイルミネータILは、必要に応じてビームデリバリシステムBDとともに放射システムと呼ぶことができる。

【0024】

[0024] イルミネータILは、放射ビームの角度強度分布を調整するアジャスタADを備えていてもよい。通常、イルミネータILの瞳面における強度分布の外側及び/又は内側半径範囲（一般にそれぞれ、-outer及び-innerと呼ばれる）を調整することができる。また、イルミネータILは、インテグレートIN及びコンデンサCOなどの他の種々のコンポーネントを備えていてもよい。イルミネータILを用いて放射ビームを調節し、その断面にわたって所望の均一性と強度分布とが得られるようにしてもよい。

【0025】

[0025] 放射ビームBは、支持構造（例えば、マスクテーブルMT）上に保持されたパターンングデバイス（例えば、マスクMA）に入射し、パターンングデバイスによってパターンングされる。マスクMAを横断した放射ビームBは、投影システムPLを通過し、投影システムPLは、ビームを基板Wのターゲット部分C上に合焦させる。第2のポジションナPWと位置センサIF（例えば、干渉計デバイス、リニアエンコーダ、二次元エンコーダ、又は容量センサ）を用いて、基板テーブルWTは、例えば、様々なターゲット部分Cを放射ビームBの経路に位置決めできるように正確に移動できる。同様に、第1のポジションナPMと別の位置センサ（図1には明示されていない）を用いて、マスクライブラリからの機械的な取り出し後又はスキャン中などに放射ビームBの経路に対してマスクMAを正確に位置決めできる。一般に、マスクテーブルMTの移動は、第1のポジションナPMの部分形成するロングストロークモジュール（粗動位置決め）及びショートストロークモジュール（微動位置決め）を用いて実現できる。同様に、基板テーブルWTの移動は、第2のポジションナPWの部分形成するロングストロークモジュール及びショートストロークモジュールを用いて実現できる。ステッパの場合（スキャナとは対照的に）、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のみに接続するか、又は固定してもよい。マスクMA及び基板Wは、パターンングデバイスアライメントマークM1、M2及び基板アライメントマークP1、P2を使用して位置合わせすることができる。図示のような基板アライメントマークは、専用のターゲット部分を占有するが、ターゲット部分Cの間の空間に位置してもよい（スクライブレインアライメントマークとして知られている）。同様に、マスクMA上に複数のダイを設ける状況では、パターンングデバイスアライメントマークをダイ間に配置してもよい。

【0026】

[0026] 図示のリソグラフィ装置は、以下のモードのうち少なくとも1つにて使用可能である。

10

20

30

40

50

1. ステップモードにおいては、マスクテーブルMT及び基板テーブルWTは、基本的に静止状態に維持される一方、放射ビームに与えたパターン全体が1回でターゲット部分Cに投影される(すなわち単一静的露光)。次に、別のターゲット部分Cを露光できるように、基板テーブルWTがX方向及び/又はY方向に移動される。ステップモードでは、露光フィールドの最大サイズによって、単一静的露光で結像されるターゲット部分Cのサイズが制限される。

2. スキャンモードにおいては、マスクテーブルMT及び基板テーブルWTは同期的にスキャンされる一方、放射ビームに与えられるパターンがターゲット部分Cに投影される(すなわち単一動的露光)。マスクテーブルMTに対する基板テーブルWTの速度及び方向は、投影システムPLの拡大(縮小)及び像反転特性によって求めることができる。スキャンモードでは、露光フィールドの最大サイズによって、単一動的露光におけるターゲット部分の(非スキャン方向における)幅が制限され、スキャン動作の長さによってターゲット部分の(スキャン方向における)高さが決まる。

3. 別のモードでは、マスクテーブルMTはプログラマブルパターンングデバイスを保持して基本的に静止状態に維持され、基板テーブルWTを移動又はスキャンさせながら、放射ビームに与えられたパターンをターゲット部分Cに投影する。このモードでは、一般にパルス状放射源を使用して、基板テーブルWTを移動させる毎に、又はスキャン中に連続する放射パルスの中で、プログラマブルパターンングデバイスを必要に応じて更新する。この動作モードは、以上で言及したようなタイプのプログラマブルミラーアレイなどのプログラマブルパターンングデバイスを使用するマスクレスリソグラフィに容易に適用できる。

【0027】

[0027] 上述した使用モードの組合せ及び/又は変形、又は全く異なる使用モードも利用できる。

【0028】

[0028] 図2に示すように、リソグラフィ装置LAは、リソセル又はクラスタとも呼ばれることがあるリソグラフィセルLCの一部を形成し、それは基板上で露光前及び露光後プロセスを実行する装置も含む。従来、これらはレジスト層を堆積させるスピコートSCと、露光されたレジストを現像する現像器DEと、チルプレートCHと、ベークプレートBKと、を含む。基板ハンドラ、すなわちロボットROは入力/出力ポートI/O1、I/O2から基板を取り上げ、それを様々なプロセス装置間で移動させ、次にそれらをリソグラフィ装置のローディングベイLBに送出する。多くの場合、まとめてトラックと呼ばれるこれらのデバイスは、トラック制御ユニットTCUの制御下にあり、それ自体は監視制御システムSCSによって制御され、それはリソグラフィ制御ユニットLACUを介してリソグラフィ装置も制御する。したがってスループット及び処理の効率を最大化するために様々な装置を動作させることができる。

【0029】

[0029] リソグラフィ装置によって露光される基板が正確かつ一貫して露光されるように、露光した基板を検査し、後続の層間のオーバーレイ誤差、ラインの太さ、クリティカルディメンション(CD)などのような特性を測定することが望ましい。誤差が検出された場合は、特に同じバッチの他の基板がまだ露光されないほど十分即座にかつ高速で検査を実行できる場合は、後続基板の露光を調整することができる。また、既に露光した基板を(歩留まりを改善するために)取り外して再加工するか、又は廃棄し、それにより欠陥があることが分かっている基板で露光を実行するのを回避することができる。基板の幾つかのターゲット部分のみに欠陥がある場合、良好であるそれらのターゲット部分のみでさらなる露光を実行することができる。

【0030】

[0030] 検査装置を使用して、基板の特性、特に異なる基板又は同じ基板の異なる層の特性が層ごとにいかに変化するかを求められる。検査装置をリソグラフィ装置LAに組み込むことができる、又はリソセルLCは独立型デバイスとすることができる。最も迅速な測

10

20

30

40

50

定を可能にするために、検査装置は露光直後に露光したレジスト層の特性を測定することが望ましい。しかし、レジストの潜像はコントラストが非常に低く、例えば放射に露光しているレジストの部分と露光していない部分との間には屈折率の非常に小さい差しかない場合のように、すべての検査装置が、潜像を有用に測定するほど十分な感度を有しているわけではない。したがって、露光後ベークステップ（PEB）の後に測定を実行することができ、これは通常は露光した基板で実行する最初のステップであり、レジストの露光部分と非露光部分との間のコントラストを増大させる。この段階で、レジストの像を半潜像と呼ぶことができる。現像したレジスト像で、その時点でレジストの露光部分又は非露光部分は除去されているか、又はエッチングなどのパターン転写ステップの後で測定することも可能である。後者の見込みは、欠陥がある基板を再加工する見込みを制限するが、それでも有用な情報を提供することができる。

10

【0031】

[0031] 図3は、本発明に使用できるスカトロメータを示す。このスカトロメータは、放射を基板W上に投影する広帯域（白色光）放射プロジェクト2を備える。反射した放射はスペクトロメータ検出器4へ渡され、スペクトロメータ検出器4は鏡面反射した放射のスペクトル10（波長の関数としての強度）を測定する。このデータから、検出されるスペクトルを生む構造又はプロファイルを処理ユニットPUによって、例えば厳密結合波解析及び非線形回帰によって、又は図3の下部に示されるようなシミュレートしたスペクトルのライブラリとの比較によって再構築することができる。一般的に、再構築するために構造の全体的形状は知られており、幾つかのパラメータは、構造を形成したプロセスの

20

【0032】

[0032] 本発明で使用することができる他のスカトロメータを図4に示す。このデバイスにおいては、放射源2が放出した放射は、干渉フィルタ13及び偏光子17を通してレンズシステム12を使用してコリメートされ、部分的反射面16によって反射し、好適には、少なくとも0.9、より好適には、少なくとも0.95という高開口数（NA）を有する顕微鏡対物レンズ15を介して基板W上に合焦する。液浸スカトロメータは、1を超える開口数を有するレンズも有してよい。反射した放射は、次に、散乱スペクトルを検出させるために部分反射面16を透過して検出器18内に達する。検出器は、レンズシステム15の焦点距離にある逆投影された瞳面11に位置してもよいが、瞳面は、その代わりに補助光学装置（図示せず）で検出器に再結像してもよい。瞳面は、放射の半径方向位置が入射角度を画定し、角度位置が放射の方位角を画定する面である。検出器は、基板ターゲット30の2次元角度散乱スペクトルが測定できるように、2次元検出器であることが好ましい。検出器18は、例えば、CCD又はCMOSセンサのアレイであってもよく、例えば、フレーム当たり40ミリ秒の積分時間を使用することができる。

30

【0033】

[0033] 例えば、入射放射の強度を測定するために、多くの場合、参照ビームが使用される。このために、放射ビームがビームスプリッタ16に入射すると、その一部が参照ビームとしてビームスプリッタを透過して参照ミラー14に向かう。次に、参照ビームは、同じ検出器18の異なる部分上、あるいは別の検出器（図示せず）上に投影される。

40

【0034】

[0034] 例えば405～790nm又はさらに低い、200～300nmなどの範囲の対象となる波長を選択するために、干渉フィルタ13のセットが使用可能である。干渉フィルタは、様々なフィルタのセットを備える代わりに調整可能であってもよい。干渉フィルタの代わりに格子を使用することもできる。

【0035】

[0035] 検出器18は、単一の波長（又は狭い波長範囲）で散乱光の強度を複数の波長で別々に、又はある波長範囲にわたって積分された強度を測定してもよい。さらに、検出器

50

は、T M 偏光及びT E 偏光の強度及び / 又はT M 偏光とT E 偏光の位相差を別々に測定してもよい。

【 0 0 3 6 】

[0036] 広帯域光源（すなわち、光の周波数又は波長、したがって色の範囲が広い光源）を使用することができ、これによって大きなエタンデュを生じさせて、複数の波長を混合できるようにする。広帯域の複数の波長は、好ましくはそれぞれの帯域幅及び少なくとも2（すなわち、帯域幅の2倍）の間隔を有する。幾つかの放射「源」は、ファイバ束を使用して分割された拡張した放射源の異なる部分であってもよい。こうして、角度分散乱スペクトルを複数の波長において並列に測定することができる。3次元スペクトル（波長と2つの異なる角度）を測定することができ、これは、2次元スペクトルより多くの情報を含む。これによって、より多くの情報を測定することができ、メトロロジープロセスの堅牢性が向上する。これは、E P 1 , 6 2 8 , 1 6 4 A号に詳述されている。

10

【 0 0 3 7 】

[0037] 基板W上のターゲット30は、現像後にバーが固体レジスト線で形成されるように印刷された1次元格子であってもよい。ターゲット30は2次元格子であってもよく、この2次元格子は、現像後に格子が固体レジストピラー又はレジストのビアで形成されるように印刷される。あるいは、バー、ピラー、又はビアを基板内にエッチングしてもよい。このパターンは、リソグラフィ投影装置、特に投影システムP L内の色収差に影響されやすく、照明の対称性及びそのような収差の存在は、印刷された格子内の変動にはっきりと現れる。したがって、印刷された格子のスカトロメトリデータを使用して格子が再構築される。線幅及び形状などの1次元格子のパラメータ、又はピラー若しくはビアの幅、長さ、若しくは形状などの2次元格子のパラメータを、印刷ステップ及び / 又は他のスカトロメトリプロセスの情報から、処理ユニットP Uによって行われる再構築プロセスに入力することができる。

20

【 0 0 3 8 】

[0038] 中間C D (M i d - C D) 及び側壁角度 (S W A) 測定値から角度分解スカトロメータを用いてリソグラフィ装置の焦点補正を決定する方法が開発されている。これらの方法は、リソグラフィプロセス内のプロセス変動を感知することが示され得る。その結果、M i d - C D 内の残り占有面積、S W A、レジスト高さ、及びB a r c 厚さパラメータは高度に相関が可能で、これらのパラメータのうちの1つのパラメータの変化が、これらのパラメータのうちの別のパラメータの変化と比較した場合に、結果として得られるスペクトル内の極めて同様の变化を引き起こすことがある。リソグラフィプロセスのモニタ及び制御時に、この結果として、不正確な焦点補正を引き起こす明らかなウェーハ全体の焦点占有面積 (1 0 n m 以下) が生成されることがある。さらに、これらの方法はE U V システムでは使用されない傾向がある。E U V 解像で使用される薄いレジストのために、S W A はスカトロメータの現在の生成では正確に測定できない。

30

【 0 0 3 9 】

[0039] 本明細書に開示する方法は、Bossung曲線のトップの局所的決定に基づいている。これは、周知の焦点オフセットによるM i d C D 曲線の応答の頂点である。通常、これは対称的な放物線である。Bossung曲線の頂点周辺では、焦点感度は最小限である。したがって、この点は多くの場合ベストフォーカスと考えられる。焦点補正をグローバルなウェーハ全体焦点補正と平均フィールド全体焦点補正とに分割することが提案されている。

40

【 0 0 4 0 】

[0040] 図5は、本明細書に開示した方法を実行する際の試験ウェーハ上のフィールドを露光するためのレチクル100の一例を示す。レチクルは、複数の焦点感応性マーク (M k 1 ~ M k 2 4 7 ; M k 1、M k 1 3、M k 6 6、M k 7 8、M k 2 3 5 及びM k 2 4 7 はラベル表示) を含む。各マークは通常、水平及び垂直バーを含む。構造内のバーはある範囲の線幅とピッチサイズとを有する。構造の特定の寸法のために、バーの線幅 (したがって、M i d - C D) は周知のBossung原理に従って焦点感応性である。

50

【 0 0 4 1 】

[0041] 図 6 は、本発明のある実施形態に従って露光された（グローバル補正フィールドとも呼ばれる）複数のフィールド 2 1 0 を有する試験ウェーハ 2 0 0 を示す。グローバルなウェーハ全体焦点補正を行うために、これらのグローバル補正フィールドは、フィールドごとに事前定義された R y 傾き（すなわち、Y 軸周りのフィールドの回転）を有するレチクル 1 0 0 を用いて露光される。ウェーハの大部分又は全部がこのように露光される。この傾きによって、グローバル補正フィールド内のマークの並びが異なる焦点高さで露光される。この傾きは、図 6 の各フィールドの網掛けによって示されている。

【 0 0 4 2 】

[0042] 図 7 は、X 位置の関数として示される 1 つの特定の並び（ライン 3 0 0 a）のマーク M k 1 ~ M k 1 3 と、別の特定の並び（ライン 3 0 0 b）のマーク M k 6 6 ~ M k 7 8 の Z 位置の一例を示す。プロットされた点の各々は、マーカを表す。R y 傾きは、画像平面 3 1 0 に対するそのフィールドの（ライン 3 0 0 a 及び 3 0 0 b に対応する）ウェーハ表面の効果的な傾きをもたらす。画像平面 3 1 0 の位置を画定するレンズ 3 2 0 の一部が示されている。Y 軸周りのウェーハ W の R y 傾きは、グローバル補正フィールドの並びの各々のマーク（すなわち、M k 1 ~ M k 1 3、M k 1 4 ~ M k 2 6 . . . M k 2 3 4 ~ M k 2 4 7）の Z デフォーカスを異なる X 位置に導入する。

【 0 0 4 3 】

[0043] 図 8 は、図 7 のマークの 2 つの並びについての M i d - C D 測定値のグラフである。傾斜フィールド内で、滑らかな放物状（Bossung）曲線 4 0 0 a、4 0 0 b を M i d - C D 測定値によってフィットさせ、露光された並びの中心軸に対する曲線の頂点位置を決定することによって、ベストフォーカスがマークの並びごとに決定される。Bossung 曲線の頂点位置が並びのベストフォーカスオフセットである。各並びのベストフォーカスオフセット値は全てモデル化され（例えば、多項式を用いて）、滑らかなウェーハ全体占有面積が決定される。この占有面積のこの補正可能な部分は、リソグラフィ装置のウェーハ全体焦点挙動を制御するのに使用できる。

【 0 0 4 4 】

[0044] もちろん、図示の R y 傾きではなく、R x 傾きをグローバル補正フィールドに適用して、マークの列を異なる高さで露光し、Bossung 曲線としてプロットしてもよい。

【 0 0 4 5 】

[0045] 図 9 は、平均フィールド全体占有面積を決定する方法を示す。複数のフィールド内補正フィールド 5 0 0（1 3 をもっばら一例として示す）は、各々が異なる焦点オフセット（焦点蛇行）を有するグローバル補正フィールドで以前に露光されていた同じウェーハ上で露光される。好ましくは、フィールド内補正フィールドはグローバル補正フィールドに対して小さいシフトで露光される。このシフトによって、それぞれのフィールドタイプ内のマークが重なることが防止される。

【 0 0 4 6 】

[0046] M i d - C D 測定値対焦点オフセット応答曲線 5 1 0 a、5 1 0 b を各マーク位置について決定できる。すなわち、1 つの曲線は全フィールドからのマーク M k 1 3 の各々の全測定値をプロットできる。図示の例では、曲線 5 1 0 a はマーク M k 5 2 の曲線を示し、曲線 5 1 0 b はマーク M k 1 3 の曲線を示している。次に、各曲線は、上記の方法に従って決定されたウェーハ全体占有面積の結果に合わせて補正される。この補正曲線の頂点位置はマークのデフォーカスを反映する。結果として得られる全てのフィールド内焦点値をリソグラフィ装置のフィールド内補正可能値でモデル化して必要な補正を得ることができる。

【 0 0 4 7 】

[0047] 重要なこととして、図 8 のフィールド間補正及び図 9 のフィールド内補正は同様に上記とは逆の方法で実行できることに留意されたい。その場合、フィールド内占有面積を最初に決定し、次にこれを用いて傾斜フィールドを用いて得たフィールド間占有面積を補正できる。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 8 】

[0048] 図10は、別の実施形態で、上記の計算されたウェーハ全体占有面積又はフィールド内占有面積を用いて側壁角度(SWA)測定におけるプロセス又はレチクル関連の影響を補償することができる。図8又は図9のグラフと同じ上のグラフで、グラフ600a、600bのBossung曲線の頂点が各行/列/マークなどについて決定され、ベストフォーカスの焦点を示す。下のグラフはSWAが露光中に使用した焦点の関数であり、したがって、SWA測定値を用いて焦点を推定することができることを示す。それぞれグラフ600a、600bに対応する2つのグラフ610a、610bが示されている。グラフ610a上の点620aはグラフ600aを用いて決定されたベストフォーカスである。各Bossung曲線の頂点(ベストフォーカス)のSWAは同じであるはずで、したがって、SWAグラフ610bは点620bを通過するはずであることを理解されたい。この例では、そうはならず、差分に630のラベルが表示されている。これらの差分はプロセス又はレチクルの誤差を表し、グラフ620bをそれに応じて補正できる。

10

【 0 0 4 9 】

[0049] ウェーハ全体占有面積の決定と同時に傾斜フィールドからSWA測定値を得ることができる。この方法は、測定時間を節約できるという利点を有する。しかしながら、シフトしたフィールドを用いれば、SWA測定値の傾きなしでより良い精度(時間を犠牲にして)を得ることができる。

【 0 0 5 0 】

[0050] この実施形態によって、ウェーハ全体及びエッジフィールドを含むフィールド全体の稠密な焦点特性が可能になる。SWA測定応答曲線はベストフォーカスに近づくより正確な着地点である。

20

【 0 0 5 1 】

[0051] Bossung曲線の頂点の決定は、現在のMid-CD及びSWA焦点決定技術と比較して、リソグラフィプロセスのプロセス変動とスキヤトロメータセンサ間の微妙な差異に影響されることが大幅に少ないことが分かっている。したがって、リソグラフィ装置の焦点占有面積を制限するより堅牢な方法確立することができる。LVT及びFOCALなどの既存の方法を用いた相関がナノメートルレベルであることを示すことができる。上記Mid-CDの実施形態は、EUVリソグラフィプロセスへの拡張性も有している。

【 0 0 5 2 】

[0052] ある種のシステムでは、特定の焦点誤差が各象限について誘導される4つの識別可能な象限を引き起こすハードウェア問題(格子プレートから生じる)がある。この誤差は、格子プレート焦点オフセットと呼ばれ、象限ごとに異なる焦点オフセットが存在するという結果が生じる。これは、モデル化の際には考慮されていないので、フィットはこれらの焦点オフセットを一部はフィールド間モデルに、一部はモデル化されているBossung曲線に帰し、残りをフィットの残りとして扱おうとする。

30

【 0 0 5 3 】

[0053] さらに、現在のフィールド間モデルはスキャンアップ-スキャンダウン効果を考慮することが容易ではない。スキヤナは、上述のように、全体のスキャン時間を短縮し、スループットを高めるように、対向する方向に各後続フィールドをスキャンする傾向がある。しかしながら、ハードウェア及び制御ループ内のヒステリシスは、上にスキャンされたフィールドの幾つかのパラメータが下にスキャンされたフィールドのパラメータとは異なることが測定可能になる「スキャンアップ-スキャンダウン(SUSD)効果」として知られている効果をもたらす。このSUSD効果は、フィールド内効果と考えることができる。SUSD効果を考慮するために、データを2つの別々の部分に分割し、半分になったデータセットについて2回モデル化を行う必要がある。この戦略では、(データ点の数の割合とモデル内の自由度とが大幅に低減するのに従って)スキャン効果の精度が大幅に低下する。

40

【 0 0 5 4 】

[0054] 別の実施形態は、上記問題に対処することを目的とする。この実施形態は、フル

50

フィールドのランダム化焦点露光マトリクス (F E M) を使用する。そのような実施形態では、フィールドは、フィールドごとに (擬似) ランダム化された (真にランダムではないが、検索対象の全パラメータの間に可能な限り最良の減結合を達成することを目的とする規則に従う) 焦点及びドーズ設定を用いて単一の層上で露光される。これは、傾斜フィールド (図 6 及び図 7) 又は蛇行フィールド (図 9 - 体系的 F E M) を使用する上記実施形態とは対照的である。全フィールド内の点について m i d - C D を補間する必要があるため、傾斜フィールドはこの実施形態では使用されない。ウェーハ上の隣接フィールドが Bossung 曲線上の隣接する点を参照する体系的な F E M は使用されない。これは、ウェーハ全体の C D 変動が (ラジアル占有面積と同様に) 直ちに Bossung 曲線と相関し、その結果、「ベストフォーカス」の誤差が発生するからである。

10

フルフィールドランダム化 F E M は以下によって混乱 / 変形する。

- ウェーハ全体の C D 変動
- フィールド内焦点の変動 (ウェーハ平均の一種)
- 格子プレートの焦点オフセット
- スキャンアップ / ダウン効果 (全部のフィールドでの平均値)

Bossung 曲線をクリーンアップし (フィットの残りを低減する)、プロセスの品質を顧客に通知するために、これらの効果がモデル化され、報告されている。

フィールド間 Bossung フィットは以下のような線形モデルを有していてもよい。

【数 1】

$$CD_{(i,j)} = \sum_{nx=0}^N \sum_{ny=0}^M a_{nx,ny} \cdot x^{nx} \cdot y^{ny} + \sum_{f=0}^{F_{max}} \sum_{d=0}^{D_{max}} c_{f,d} \cdot F^f \cdot \left(\frac{1}{D}\right)^d \quad (式 1)$$

20

【 0 0 5 5 】

[0055] 第 1 項は、ウェーハ全体の C D 変動 (全部の Bossung 曲線で同じ係数) を記述するフィールド間成分である。この第 1 項には、非常に簡単な多項式が使用されている。代替案には、ゼルニケ多項式 (又はその他のラジアル多項式) 又はラジアル基底関数がある。第 2 項は Bossung 曲線 (フィールド内の場所ごとに異なる係数) を記述する。各フィールド内の場所ごとに別々の Bossung 曲線がモデル化されることに留意されたい。x 及び y はウェーハ座標を指し、F 及び D は焦点とウェーハ上の所与の x 及び y 座標のドーズ量を指す。

30

【 0 0 5 6 】

[0056] スキャンアップ - スキャンダウン効果と格子プレート焦点オフセットとをより良く説明するために、焦点項 F を拡張することが提案されている。

【数 2】

$$F = \overline{F}_{i,j} - F_{i,j} \uparrow \downarrow - G(x, y) \quad (式 2)$$

ここで、

40

【数 3】

$$\overline{F}_{i,j}$$

はフィールド内位置 (i , j) での平均フィールド内焦点オフセット、

【数 4】

$$F_{i,j} \uparrow \downarrow$$

は、フィールド内位置 (i , j) でのスキャンアップ - スキャンダウンの差、

50

$G(x, y)$ は格子プレートオフセットモデルである。

【0057】

[0057] 簡単な形式では、格子プレートオフセットモデルは以下のようになる。

【数5】

$$G(x, y) = \sum_{q=1}^4 \sum_{\alpha=0}^A \sum_{\beta=0}^B H^q(x, y) \cdot g_{\alpha, \beta}^q \cdot x^{\alpha} \cdot y^{\beta} \quad (\text{式3})$$

【0058】

[0058] この例では、フィルタHを用いて象限（したがって、x及びyへの依存度）をフィルタリングし、

10

【数6】

$$g_{\alpha, \beta}^q$$

は、象限qにおけるx及びyに依存しているモデルの係数を指す。これは、実施形態の1つのオプションに過ぎず、他のモデルの方がより適切なこともある。

【0059】

[0059] 上記方法（例えば、図5～図9に関連して述べた方法）で、図11aに示すように、方法のフローは比較的簡単である。モデルがデータに適用され、その結果が返される。比較すると、本発明の実施形態の方法のフローは、2段階の方法をとる。非線形の解法の方がはるかに複雑であり、自由度が大きい場合に処理が困難であるため、これが必要である。

20

【0060】

[0060] 図11b及び図11cは、この実施形態のそれぞれ第1のステップと第2のステップとを示すフローチャートである。第1のステップでは、データのサブセットが取られ、このことから、以下が同時フィッターとなる。すなわち、フィールド間CD変動、格子プレート焦点オフセット、及び限られた数のフィールド内の場所の限られた数のBossung曲線（例えば、16）である。ジェネリック型パラメータ（フィールド間CD、格子プレートオフセット）が決定されると、これらの結果を用いて、より稠密な格子（例えば、13×7=91個のフィールド内の点）上で測定されるより正確なBossung曲線（通常、異なるターゲットCD/ピッチ）が得られる。スキャンアップ・スキャンダウン効果を考慮したとしても、第2ステップの問題の複雑さは低減され、解決が簡単になっている。

30

【0061】

[0061] 本発明の別の実施形態を、以下の番号の条項に示す。

1. リソグラフィ投影装置の焦点補正を決定する方法であって、

試験基板上的複数のグローバル補正マークの各々について焦点依存特性を測定してフィールド間焦点変動情報を決定するステップと、

前記フィールド間焦点変動情報からフィールド間焦点補正を計算するステップと、を含み、

40

前記グローバル補正マークが複数のグローバル補正フィールド内に配置され、各グローバル補正フィールドがフィールド全体にわたって傾斜した焦点オフセットで露光されている、方法。

2. 前記グローバル補正フィールドが、前記試験基板表面の実質的に全体にわたって露光されている、条項1に記載の方法。

3. 前記傾斜した焦点オフセットが、全て同じ軸方向にある軸を中心に傾斜している、条項1又は2に記載の方法。

4. 前記傾斜した焦点オフセットが、前記軸を中心に異なる方向に傾斜している、条項3に記載の方法。

5. 前記グローバル補正マークが各グローバル修正フィールド内のサブセットに配置され

50

、前記傾斜した焦点オフセットによって、各サブセットについて、各グローバル補正マークが異なる焦点オフセットで露光され、前記焦点オフセットが前記サブセットに沿って略直線的に変化し、

前記サブセットの各々について最適な焦点が決定される、条項 1 から 4 のいずれかに記載の方法。

6 . 前記グローバル補正マークの前記露光焦点オフセットに対する前記サブセットに含まれる各グローバル補正マークの各測定された焦点依存特性をプロットし、前記焦点依存特性への焦点感度が最小になる場所を決定することによって、各サブセットの前記最適な焦点が決定される、条項 5 に記載の方法。

7 . 前記サブセットが、グローバル補正マークの行又は列を含む、条項 5 又は 6 に記載の方法。

8 . 前記決定された最適焦点値が、前記フィールド間焦点補正を発見するために共にモデル化される、条項 5、6 又は 7 に記載の方法。

9 . 前記方法が、

前記試験基板から側壁角度データを測定するステップと、

前記側壁角度測定値から焦点測定値を決定するステップと、を含み、前記焦点測定値が、前記フィールド間焦点補正を用いて補正される、条項 5 から 8 のいずれかに記載の方法

10 . 全ての決定された最適焦点値における前記側壁角度の値が、前記焦点測定値の補正において全て実質的に等しいと仮定するステップを含む、条項 9 に記載の方法。

11 . 各フィールド全体にわたって傾斜した焦点オフセットで前記試験基板上に前記複数のグローバル補正フィールドを露光する前記初期ステップを含む、条項 1 から 10 のいずれかに記載の方法。

12 . フィールド内焦点補正を決定するステップをさらに含む、条項 1 から 11 のいずれかに記載の方法。

13 . 前記フィールド内焦点補正が、

前記試験基板上的複数のフィールド内補正マークの各々について焦点依存特性を測定してフィールド内焦点変動情報を決定するステップと、

前記フィールド内焦点変動情報から前記フィールド内焦点補正を計算するステップと、によって決定され、

前記フィールド内補正マークが複数のフィールド内補正フィールド内に配置され、各フィールド内補正フィールドが焦点オフセットを用いて露光されている、条項 12 に記載の方法。

14 . フィールド間効果とフィールド内効果の両方の補正を得るために、前記フィールド間焦点変動情報が、前記フィールド内焦点補正を決定する際に使用される、条項 12 又は 13 に記載の方法。

15 . フィールド間効果とフィールド内効果の両方の補正を得るために、前記フィールド内焦点変動情報が、前記フィールド間焦点補正を決定する際に使用される、条項 12 又は 13 に記載の方法。

16 . 各フィールド内補正フィールドが、異なる焦点オフセットで露光されている、条項 13 から 15 のいずれかに記載の方法。

17 . 前記フィールド内焦点変動情報が、

前記フィールド内補正マークの前記露光焦点オフセットに対して各フィールド内補正フィールドにおける対応する位置に、各フィールド内補正マークについて各測定された焦点依存特性をプロットするステップと、前記焦点依存特性への焦点感度が最小となる場所を決定するステップと、によって決定される、条項 13 から 16 のいずれかに記載の方法。

18 . 前記グローバル補正マークと前記フィールド内補正マークとが重ならないように、各フィールド内補正フィールドが、前記グローバル補正フィールドからの位置オフセットで露光されている、条項 13 から 17 のいずれかに記載の方法。

19 . 前記方法が、

10

20

30

40

50

- 前記試験基板から側壁角度データを測定するステップと、
 前記側壁角度測定値から焦点測定値を決定するステップと、を含み、
 前記焦点測定値が、前記フィールド内焦点補正を用いて補正される、条項 13 から 18
 のいずれかに記載の方法
- 20 . フィールド内補正マークの複数のサブセットの各々について最適な焦点を決定する
 ステップと、
 各最適焦点値における前記側壁角度の値が前記焦点測定値の補正の際に全て実質的に等
 しいと仮定するステップと、
 を含む、条項 19 に記載の方法。
- 21 . 前記試験基板上に前記複数のフィールド内補正のフィールドを露光するステップを
 含む、条項 13 から 20 のいずれかに記載の方法。 10
- 22 . 前記焦点依存特性が、クリティカルディメンションに関連する、条項 1 から 21 の
 いずれかに記載の方法。
- 23 . 前記決定した焦点補正を後続のリソグラフィプロセスで使用するステップを含む、
 条項 1 から 22 のいずれかに記載の方法。
- 24 . プロセス補正を決定する全ての前記ステップが、前記プロセス補正が前記リソグラ
 フィプロセス中に決定できるように、前記リソグラフィツールとは別のインスペクション
 ツール上で実行される、条項 23 に記載の方法。
- 25 . リソグラフィ投影プロセスで使用するための焦点補正を決定するリソセルであって
 、前記装置が、 20
- 試験基板上で、各々が複数のグローバル補正マークを含む複数のグローバル補正フィー
 ルドを、各フィールド全体にわたって傾斜した焦点オフセットで露光するように動作可能
 なリソグラフィ装置と、
 前記複数のグローバル補正マークの各々について焦点依存特性を測定するように動作可
 能な検査装置と、
 前記測定された焦点依存特性からフィールド間焦点変動情報を決定し、前記フィールド
 間焦点変動情報からフィールド間焦点補正を計算するように動作可能なプロセッサと、
 を備える、リソセル。
- 26 . 前記リソグラフィ装置が、前記試験基板表面の実質的に全体にわたって前記グロー
 バル補正フィールドを露光するように動作可能である、条項 25 に記載のリソセル。 30
- 27 . 前記傾斜した焦点オフセットが前記同一の軸方向に配置された軸周りに全て傾斜さ
 れるように、前記リソグラフィ装置が前記グローバル補正フィールドを露光するように動
 作可能である、条項 25 又は 26 に記載のリソセル。
- 28 . 前記傾斜した焦点オフセットが前記軸周りの異なる方向に傾斜されるように、前記
 リソグラフィ装置が前記グローバル補正フィールドを露光するように動作可能である、条
 項 27 に記載のリソセル。
- 29 . 前記リソグラフィ装置が、前記グローバル補正マークが各グローバル補正フィー
 ルド内のサブセットに配置されるように、前記グローバル補正フィールドを露光するよう
 に動作可能であり、前記傾斜した焦点オフセットによって、各サブセットについて、各グ
 ローバル補正マークが異なる焦点オフセットで露光され、前記焦点オフセットが前記サブ
 セットに沿って略直線的に変化し、 40
- 前記プロセッサが、前記サブセットの各々について最適な焦点を決定するように動作可
 能である、条項 25 から 28 のいずれかに記載のリソセル。
- 30 . 前記プロセッサが、前記グローバル補正マークの前記露光焦点オフセットに対する
 前記サブセットに含まれる各グローバル補正マークの各測定された焦点依存特性をプロッ
 トし、前記焦点依存特性への焦点感度が最小になる場所を決定することによって、各サブ
 セットの最適焦点を決定するように動作可能である、条項 29 に記載のリソセル。
- 31 . 前記サブセットが、グローバル補正マークの行又は列を含む、条項 29 又は 30 に
 記載のリソセル。
- 32 . 前記プロセッサが、前記フィールド間焦点補正を発見するために前記最適焦点値を 50

共にモデル化するように動作可能である、条項 29、30 又は 31 に記載のリソセル。

33．前記検査装置が、前記試験基板から側壁角度データを測定するように動作可能であり、

前記プロセッサが、前記側壁角度の測定値から焦点測定値を決定し、前記フィールド間焦点補正を用いて前記焦点測定値を補正する、条項 29 から 32 のいずれかに記載のリソセル。

34．前記プロセッサが、全ての決定された最適焦点値における前記側壁角度の値が全て実質的に等しいと仮定するように動作可能である、条項 33 に記載のリソセル。

35．フィールド内焦点補正を決定するようにさらに動作可能である、条項 25 から 34 のいずれかに記載のリソセル。

36．前記リソグラフィ装置が、各々が複数のフィールド内補正マークを含む複数のフィールド内補正フィールドを前記試験基板上で露光するように動作可能であり、前記フィールド内補正フィールドが各々、焦点オフセットを用いて露光され、

前記検査装置が、前記複数のフィールド内補正マークの各々の焦点依存特性を測定するように動作可能であり、

前記プロセッサが、前記複数のフィールド内補正マークの各々について前記測定された焦点依存特性からフィールド内焦点変動情報を決定し、前記フィールド内焦点変動情報から前記フィールド内焦点補正を計算するように動作可能である、条項 35 に記載のリソセル。

37．前記プロセッサが、フィールド間効果とフィールド内効果の両方の補正を得るために、前記フィールド間焦点変動情報を用いて前記フィールド内焦点補正を決定するように動作可能である、条項 35 又は 36 に記載のリソセル。

38．前記プロセッサが、フィールド間効果とフィールド内効果の両方の補正を得るために、前記フィールド内焦点変動情報を用いて前記フィールド間焦点補正を決定するように動作可能である、条項 35 又は 36 に記載のリソセル。

39．前記リソグラフィ装置が、各フィールド内補正フィールドを異なる焦点オフセットで露光するように動作可能である、条項 36 から 38 に記載のリソセル。

40．前記プロセッサが、前記フィールド内焦点変動情報を、

前記フィールド内補正マークの前記露光焦点オフセットに対して各フィールド内補正フィールドにおける対応する位置に、各フィールド内補正マークについて各測定された焦点依存特性をプロットするステップと、前記焦点依存特性への焦点感度が最小となる場所を決定するステップと、によって決定するように動作可能である、条項 36 から 39 に記載のリソセル。

41．前記グローバル補正マークと前記フィールド内補正マークとが重ならないように、前記リソグラフィ装置が、各フィールド内補正フィールドを前記グローバル補正フィールドからの位置オフセットで露光するように動作可能である、条項 36 から 40 のいずれかに記載のリソセル。

42．前記検査装置が、前記試験基板から側壁角度データを測定するように動作可能であり、

前記プロセッサが、前記側壁角度の測定値から焦点測定値を決定し、前記フィールド内焦点補正を用いて前記焦点測定値を補正するように動作可能である、条項 36 から 41 のいずれかに記載のリソセル。

43．前記プロセッサが、

フィールド内補正マークの複数のサブセットの各々について最適な焦点を決定し、各最適焦点値における前記側壁角度の値が全て実質的に等しいと仮定するように動作可能である、条項 42 に記載のリソセル。

44．前記焦点依存特性が、クリティカルディメンションに関連する、条項 25 から 43 のいずれかに記載のリソセル。

45．リソグラフィ投影装置の焦点補正を決定する方法であって、前記方法が、

複数のフィールド内補正フィールド内に配置され、変動する焦点を用いて露光されてい

10

20

30

40

50

る、試験基板上の複数のフィールド内補正マークの各々の焦点依存特性を測定するステップと、

前記測定された焦点依存特性から、各フィールド内補正マークの場所についてフィールド内焦点変動情報を決定するステップと、

前記フィールド内焦点変動情報から前記フィールド内焦点補正を計算するステップと、を含み、

フィールド内焦点補正を計算する前記ステップがスキャンアップ - スキャンダウン効果を考慮するステップを含み、それによって、測定されたパラメータがリソグラフィプロセス中の前記スキャン方向の依存性の変動を示す、方法。

46．フィールド内焦点補正を計算する前記ステップが、各フィールド内の場所での平均フィールド内焦点オフセットと、各フィールド内の場所でのスキャンアップ - スキャンダウン効果から生じる差と、によって、前記フィールド内焦点変動情報をモデル化するステップを含む、条項45に記載の方法。

47．変動する焦点を用いて前記フィールド内補正マークを露光するステップが、フィールドごとに擬似ランダム化焦点及びドーズ量設定で単層上に補正マークを露光するステップを含む、条項45又は46に記載の方法。

48．フィールド内焦点補正を計算する前記ステップが、格子プレートが前記リソグラフィ装置の一部を形成する結果として誘導される格子プレート焦点誤差を別に考慮するステップを含む、条項45から47のいずれかに記載の方法。

49．前記格子プレート焦点誤差がウェーハ象限ごとに誘導され、フィールド内焦点補正を計算する前記ステップがフィルタを用いて別のフィールド内焦点変動情報をモデル化して前記試験基板の特定の象限をフィルタリングするステップを含む、条項48に記載の方法。

50．フィールド内焦点補正を計算する前記ステップが、

ジェネリック型フィールド間成分が得られるように、前記測定された焦点依存特性のサブセットのみについての前記焦点補正のフィールド間成分と前記フィールド内補正フィールドのサブセットのみから得たフィールド内成分とを同時にモデル化するステップと、

前記ジェネリック型フィールド間成分と測定された焦点依存特性の完全なセットとを用いて各々の場所の前記スキャンアップ - スキャンダウン効果を決定するステップと、を含む、条項45から49のいずれかに記載の方法。

51．Bossung曲線として各フィールド内の場所での前記平均フィールド内焦点オフセットのモデル化の際に、前記計算されたフィールド間成分と測定された焦点依存特性の前記完全なセットとが使用される、条項50に記載の方法。

52．前記フィールド間成分が、前記ウェーハ全体のクリティカルディメンションシグネチャ及び格子プレート焦点誤差を含む、条項50又は51に記載の方法。

53．前記フィールド内焦点変動情報がBossung曲線としてモデル化され、全てのフィールド内位置について、別々のBossung曲線がモデル化される、条項45から49のいずれかに記載の方法。

54．リソグラフィ投影プロセスで使用するための焦点補正を決定するリソセルであって、前記装置が、

試験基板上に、複数のフィールド内補正フィールドに配置され、フィールドごとに擬似ランダム化焦点及びドーズ量設定で露光されている複数のフィールド内補正マークを露光するように動作可能なリソグラフィ装置と、

前記複数のフィールド内補正マークの各々について焦点依存特性を測定するように動作可能な検査装置と、

前記測定された焦点依存特性から各フィールド内補正マークの場所のフィールド内焦点変動情報を決定し、前記フィールド内焦点変動情報からフィールド内焦点補正を計算するように動作可能なプロセッサと、を備え、

フィールド内焦点補正を計算することが、スキャンアップ - スキャンダウン効果を考慮することを含み、それによって、測定されたパラメータがリソグラフィプロセス中の前記

10

20

30

40

50

スキャン方向の依存性の変動を示す、リソセル。

55．前記プロセッサが、各フィールド内の場所での前記平均フィールド内焦点オフセットと、各フィールド内の場所でのスキャンアップ - スキャンダウン効果から生じる差と、によって、前記フィールド内焦点変動情報をモデル化するようにさらに動作可能である、条項54に記載のリソセル。

56．前記プロセッサが、格子プレートが前記リソグラフィ装置の一部を形成する結果として誘導される格子プレート焦点誤差を別に考慮するように動作可能である、条項54又は55に記載のリソセル。

57．前記格子プレート焦点誤差がウェーハ象限ごとに誘導され、前記プロセッサが、フィルタを用いて別のフィールド内焦点変動情報をモデル化することによって前記フィールド内焦点補正を計算して前記試験基板の特定の象限をフィルタリングするように動作可能である、条項56に記載のリソセル。

58．前記プロセッサが、

前記測定された焦点依存特性のサブセットのみの前記焦点補正のフィールド間成分を計算し、

前記計算されたフィールド間成分と測定された焦点依存特性の前記完全なセットとを使用して各々の場所での前記スキャンアップ - スキャンダウン効果を決定するように動作可能である、条項54から57のいずれかに記載のリソセル。

59．前記プロセッサが、Bossung曲線として各フィールド内の場所での前記平均フィールド内焦点オフセットのモデル化の際に前記計算されたフィールド間成分と測定された焦点依存特性の前記完全なセットとを使用するように動作可能である、条項58に記載のリソセル。

60．前記フィールド間成分が、前記ウェーハ全体のクリティカルディメンションシグネチャ及び格子プレート焦点誤差を含む、条項58又は59に記載のリソセル。

61．前記プロセッサが、Bossung曲線として前記フィールド内焦点変動情報をモデル化するように動作可能であり、全てのフィールド内位置について、別個のBossung曲線がモデル化される、条項54から57のいずれかに記載のリソセル。

62．好適な装置上で実行されると条項1から24のいずれかに記載の方法を実行するように動作可能なプログラム命令を含む、コンピュータプログラムプロダクト。

63．好適な装置上で実行されると条項45から53のいずれかに記載の方法を実行するように動作可能なプログラム命令を含む、コンピュータプログラムプロダクト。

【0062】

[0062] 本文ではICの製造におけるリソグラフィ装置の使用に特に言及しているが、本明細書で説明するリソグラフィ装置には他の用途もあることを理解されたい。例えば、これは、集積光学システム、磁気ドメインメモリ用誘導及び検出パターン、フラットパネルディスプレイ、液晶ディスプレイ(LCD)、薄膜磁気ヘッドなどの製造である。こうした代替的な用途に照らして、本明細書で「ウェーハ」又は「ダイ」という用語を使用している場合、それぞれ、「基板」又は「ターゲット部分」という、より一般的な用語と同義と見なしてよいことが、当業者には認識される。本明細書に述べている基板は、露光前又は露光後に、例えばトラック(通常はレジストの層を基板に塗布し、露光したレジストを現像するツール)、メトロロジーツール及び/又はインスペクションツールで処理することができる。適宜、本明細書の開示は、以上及びその他の基板処理ツールに適用することができる。さらに基板は、例えば多層ICを生成するために、複数回処理することができる。したがって本明細書で使用する基板という用語は、既に複数の処理済み層を含む基板も指すことができる。

【0063】

[0063] 光リソグラフィの分野での本発明の実施形態の使用に特に言及してきたが、本発明は文脈によってはその他の分野、例えばインプリントリソグラフィでも使用することができ、光リソグラフィに限定されないことを理解されたい。インプリントリソグラフィでは、パターンングデバイス内のトポグラフィが基板上に作成されたパターンを画定する。

パターンングデバイスのトポグラフィは基板に供給されたレジスト層内に刻印され、電磁放射、熱、圧力又はそれらの組合せを印加することでレジストは硬化する。パターンングデバイスはレジストから取り除かれ、レジストが硬化すると、内部にパターンが残される。

【0064】

[0064] 本明細書で使用する「放射」及び「ビーム」という用語は、イオンビーム又は電子ビームなどの粒子ビームのみならず、紫外線（UV）放射（例えば、365nm、355nm、248nm、193nm、157nm若しくは126nm、又はこれら辺りの波長を有する）及び極端紫外線（EUV）放射（例えば、5nm～20nmの範囲の波長を有する）を含むあらゆるタイプの電磁放射を網羅する。

10

【0065】

[0065] 「レンズ」という用語は、状況が許せば、屈折型、反射型、磁気型、電磁型及び静電型光学コンポーネントを含む様々なタイプの光学コンポーネントのいずれか一つ、又はその組合せを指すことができる。

【0066】

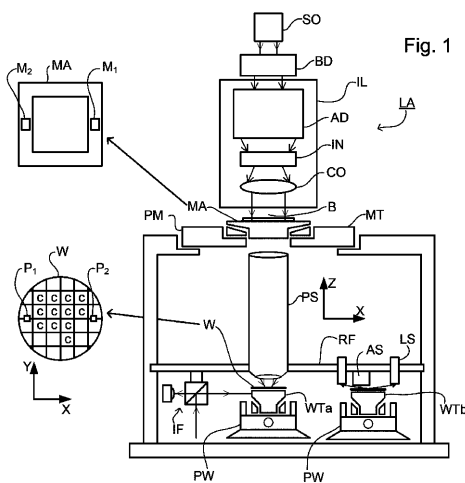
[0066] 以上、本発明の特定の実施形態を説明したが、説明とは異なる方法でも本発明を実践できることが理解される。例えば、本発明は、上記で開示したような方法を述べる機械読み取り式命令の1つ以上のシーケンスを含むコンピュータプログラム、又はこのようなコンピュータプログラムを内部に記憶したデータ記憶媒体（例えば半導体メモリ、磁気又は光ディスク）の形態をとることができる。

20

【0067】

[0067] 上記の説明は例示的であり、限定的ではない。したがって、請求の範囲から逸脱することなく、記載されたような本発明を変更できることが当業者には明白である。

【図1】



【図3】

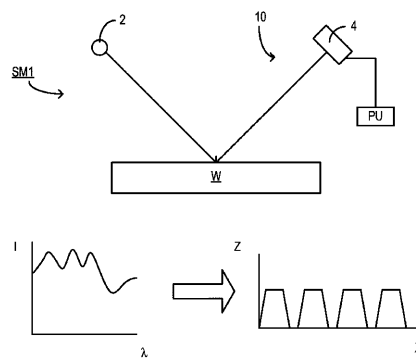


Fig. 3

【図2】

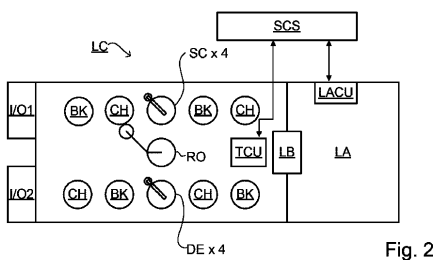


Fig. 2

【 図 4 】

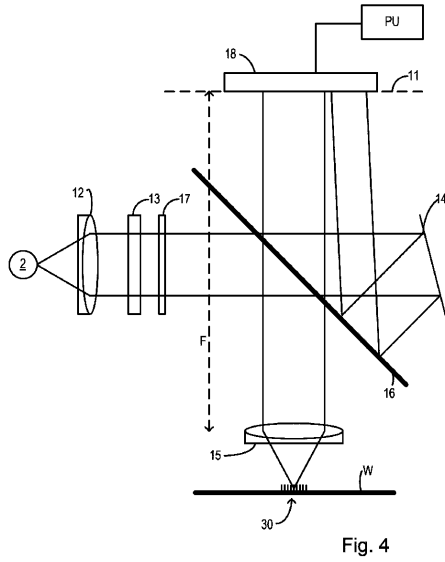


Fig. 4

【 図 5 】

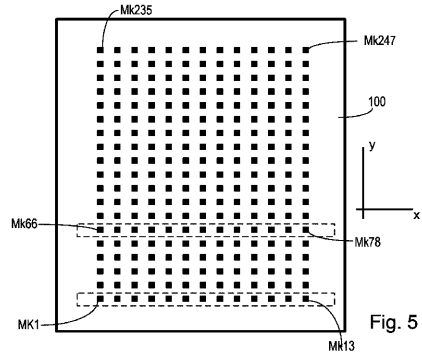


Fig. 5

【 図 6 】

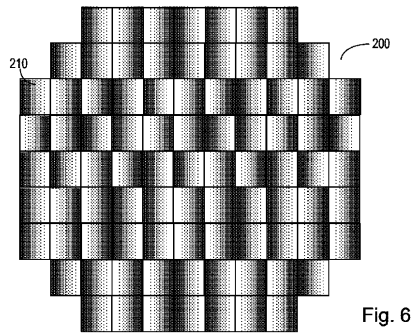


Fig. 6

【 図 7 】

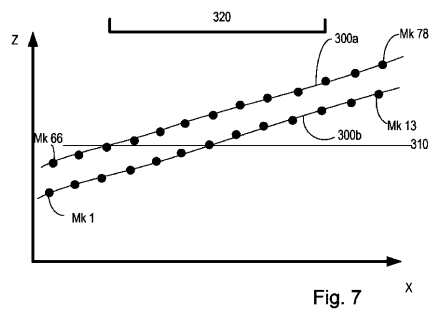


Fig. 7

【 図 9 】

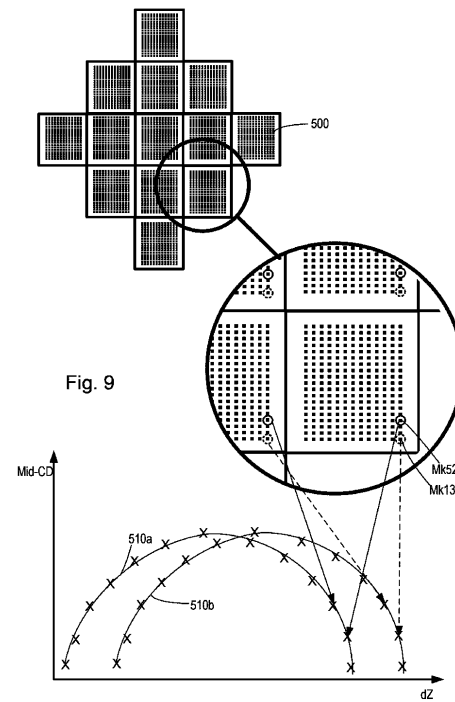


Fig. 9

【 図 8 】

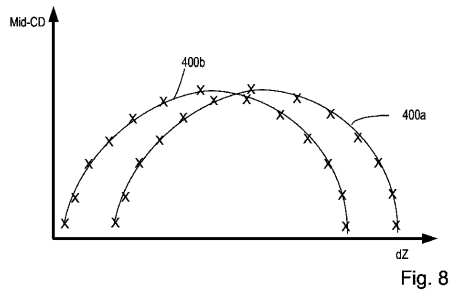


Fig. 8

【 図 1 0 】

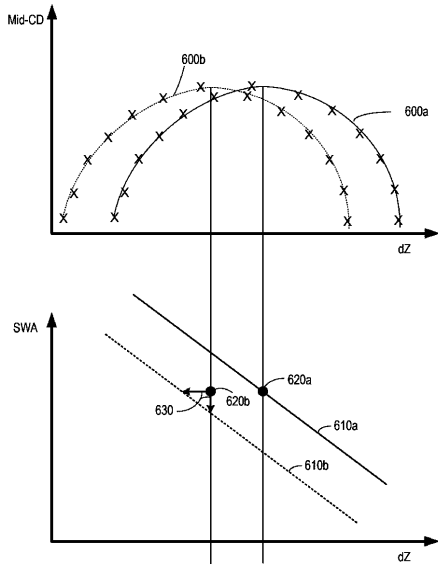
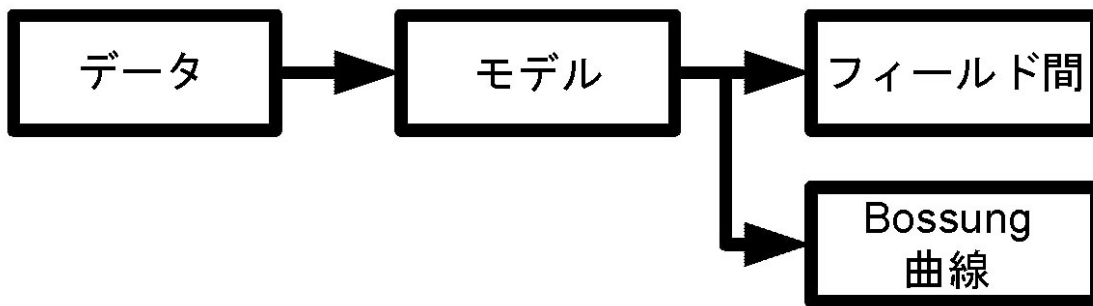
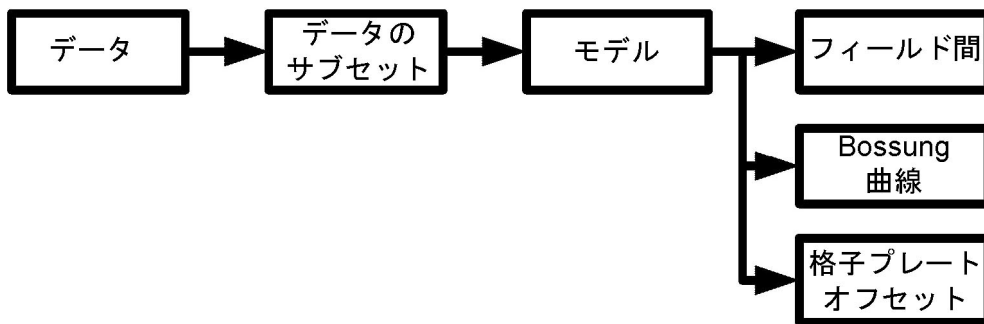


Fig. 10

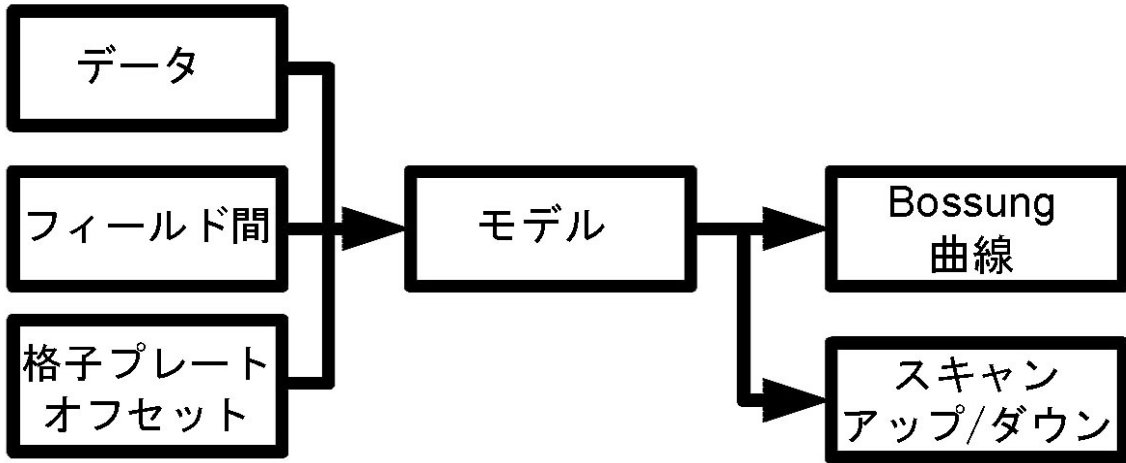
【 図 1 1 a 】



【 図 1 1 b 】



【図11c】



フロントページの続き

- (72)発明者 キールス, アントイネ
オランダ国, ヴェルトホーフエン, エヌエル - 5 5 0 1 ディーダブリュー, レイ 5 3
- (72)発明者 テル, ウィム
オランダ国, ヘルモンド エヌエル - 5 7 0 9 アールゼット, スチャーズバーゲンドレーフ 5
- (72)発明者 テウヴェス, トーマス
オランダ国, ヴェルトホーフエン エヌエル - 5 5 0 8 ケーシー, ブイザー 1 5 6

審査官 新井 重雄

- (56)参考文献 特開平07 - 1 1 1 2 3 3 (J P , A)
特開平10 - 2 5 4 1 2 3 (J P , A)
特開2001 - 0 3 5 7 8 5 (J P , A)
特開平06 - 3 4 9 6 9 6 (J P , A)
国際公開第2010 / 0 7 6 2 3 2 (W O , A 2)
米国特許出願公開第2011 / 0 2 0 5 5 1 1 (U S , A 1)
国際公開第2006 / 0 5 9 3 7 7 (W O , A 1)
特開2010 - 1 9 9 1 5 9 (J P , A)

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B名)
G 0 3 F 9 / 0 2
G 0 1 B 1 1 / 0 0