

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7162738号
(P7162738)

(45)発行日 令和4年10月28日(2022.10.28)

(24)登録日 令和4年10月20日(2022.10.20)

(51)国際特許分類 F I
G 0 3 F 7/20 (2006.01) G 0 3 F 7/20 5 2 1
G 0 3 F 7/20 5 0 1

請求項の数 15 (全24頁)

(21)出願番号	特願2021-521195(P2021-521195)	(73)特許権者	504151804
(86)(22)出願日	令和1年9月25日(2019.9.25)		エーエスエムエル ネザーランズ ビー . ブイ .
(65)公表番号	特表2022-505239(P2022-505239 A)		オランダ国 ヴェルトホーフエン 5 5 0 0 エーエイチ , ビー . オー . ボックス 3 2 4
(43)公表日	令和4年1月14日(2022.1.14)	(74)代理人	100105924
(86)国際出願番号	PCT/EP2019/075819		弁理士 森下 賢樹
(87)国際公開番号	WO2020/078677	(74)代理人	100134256
(87)国際公開日	令和2年4月23日(2020.4.23)		弁理士 青木 武司
審査請求日	令和3年6月16日(2021.6.16)	(72)発明者	バドル、エリー
(31)優先権主張番号	18201147.8		オランダ国 ヴェルトホーフエン 5 5 0 0 エーエイチ , ビー . オー . ボックス 3 2 4
(32)優先日	平成30年10月18日(2018.10.18)	(72)発明者	シャカワット ミラート、ショーン
(33)優先権主張国・地域又は機関	欧州特許庁(EP)		最終頁に続く

(54)【発明の名称】 構造物及び関連装置の検査方法及び装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ターゲット構造からオーバーレイメトリックを決定する方法であって、
ターゲット構造の測定に関連する角度分解分布スペクトルデータを取得し、前記角度分解分布スペクトルデータは対称成分を含み、
前記角度分解分布スペクトルデータから、前記ターゲット構造のフィーチャのオーバーレイ依存輪郭を決定し、
前記輪郭から前記オーバーレイメトリックを決定する、方法。

【請求項 2】

前記角度分解分布スペクトルデータから前記ターゲット構造のフィーチャのオーバーレイ依存輪郭を決定するステップが、最初に前記対称成分を除去することなく、前記角度分解分布スペクトルデータから輪郭を決定することを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

オーバーレイ依存輪郭を決定する前記ステップは、前記ターゲット構造のパラメータ化された幾何学的モデルを使用して前記ターゲット構造の再構築を実行することを含む、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記オーバーレイメトリックと同時に、前記輪郭からフィーチャのクリティカルディメンションを決定することをさらに含む、請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 5】

10

20

オーバーレイメトリックは、オーバーレイ又はエッジ配置エラーを含む、請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 6】

角度分解分布スペクトルデータは、エッチングステップの後に実行されるターゲット構造の測定に関連する、請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 7】

前記フィーチャが自己整合プロセスによって形成されたフィーチャを含み、エッチング工程中のエッチング選択性が、オーバーレイに依存して前記輪郭を定義する、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

前記フィーチャは、マスクされた層に対して意図的にオフセットして露光されたエッチングされたビアである、請求項 6 又は 7 に記載の方法。

【請求項 9】

前記意図的なオフセットは、オーバーレイなしで、前記露光したビアの約半分が前記エッチングステップ中に除去されるようなものであり、実際の除去量はオーバーレイに依存する、請求項 8 に記載の方法。

【請求項 10】

角度分解分布スペクトルデータを取得するためにスキヤトロメトリメトロジステップを実行することを含む、請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 11】

前記ターゲット構造は複数の前記フィーチャを含み、前記オーバーレイメトリックは、個々のフィーチャの各々について決定されたオーバーレイメトリックの個々の値の平均である、請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 12】

角度分解分布スペクトルデータから非対称成分を除去し、それにより、前記対称成分のみからオーバーレイ依存輪郭を決定することを含む、請求項 1 乃至 11 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 13】

角度分解分布スペクトルデータにおける非対称成分の原因を決定することを含む、請求項 1 乃至 11 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 14】

検査装置であって、
基板上の構造上に測定放射線を投影するための投影光学系と、
前記構造による前記測定放射線の散乱から得られる測定応答を得るように動作可能な検出装置と、

プロセッサとを含み、

前記検査装置は、請求項 1 から 13 のいずれかの方法を実行するよう動作可能である、検査装置。

【請求項 15】

機械可読命令の 1 つ又は複数のシーケンスを含むコンピュータプログラム製品であって、命令は、1 つ又は複数のプロセッサに請求項 1 から 13 のいずれかによる方法を実行させるように適合されている、コンピュータプログラム製品。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願の相互参照

この出願は、2018年10月18日に出願された欧州出願第18201147.8の優先権を主張し、これは参照によりその全体が本明細書に組み込まれる。

【0002】

本発明は、例えばリソグラフィ装置のオーバーレイ性能を評価するための、微細構造の

10

20

30

40

50

計測に関する。

【 0 0 0 3 】

リソグラフィ装置は、基板、通常は基板のターゲット部分に所望のパターンを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）の製造に使用することができる。その場合、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の個々の層に形成される回路パターンを生成することができる。このパターンは、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つ又はいくつかのダイを含む）に転写することができる。パターンの転写は、通常、基板上に提供された放射線感受性材料（レジスト）の層への画像形成によって行われる。一般に、単一の基板には、連続してパターン化される隣接するターゲット部分のネットワークが含まれる。既知のリソグラフィ装置には、パターン全体を一度にターゲット部分に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パーと、基板をこの方向に平行又は反平行に同期走査しながら、放射ビームを通して所与の方向（「スキャン」方向）にパターンを走査することによって各対象部分が照射されるいわゆるスキャナとが含まれる。基板上にパターンをインプリントすることにより、パターンング装置から基板にパターンを転写することも可能である。

10

【 0 0 0 4 】

リソグラフィプロセスを監視するためには、パターン化された基板のパラメータ、例えば基板内又は基板上に形成された連続層間のオーバーレイエラーを測定する必要がある。リソグラフィプロセスで形成された微細構造の測定には、走査型電子顕微鏡やさまざまな専用ツールの使用など、さまざまな手法がある。特殊な検査ツールの1つの形式は、放射ビームが基板の表面上のターゲットに向けられ、散乱又は反射されたビームの特性が測定されるスカトロメータである。基板によって反射又は散乱される前後のビームの特性を比較することにより、基板の特性を決定することができる。これは、例えば、反射ビームを、既知の基板特性に関連する既知の測定値のライブラリに保存されているデータと比較することによって行われる。2つの主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に向け、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。角度スカトロメータは、単色放射線ビームを使用し、散乱放射線の強度を角度の関数として測定する。

20

【 0 0 0 5 】

測定対象の構造のサイズが原因で、そのようなスカトロメータは構造の寸法（例えば、オーバーレイ、クリティカルディメンション（CD）、又はエッジ配置エラー（EPE））を直接測定できない。代わりに、そのような寸法測定は通常、再構成技術を使用して行われる。このような再構成技術は、逆散乱という一般的な名前で見られる一連の問題に属し、この問題では、観測されたデータが可能性のある物理的状況に結び付けられる。目的は、観測されたデータにできるだけ近い物理的状況を見つけることである。スカトロメトリの場合、電磁理論（マクスウェル方程式）により、与えられた物理的状況で測定（散乱）データがどうなるかを予測できる。これは前方散乱問題と呼ばれる。逆散乱問題は、実際の測定データに対応する適切な物理的状況を見つけることである。これは通常、非常に非線形の問題である。この逆散乱問題を解決するために、多くの前方散乱問題の解を使用する非線形ソルバーが使用される。再構成の既知のアプローチでは、非線形問題は次の3つの要素に基づく。

30

- ・測定データと推定散乱セットアップから計算されたデータとの差の最小化、例えばガウス・ニュートン法又は同様の数値アルゴリズム

- ・例えばコンタクトホールのような散乱設定のパラメータ化された形状

- ・パラメータが更新されるたびに、前方問題の解決において十分に高い精度（例えば、計算された反射係数）

40

【発明の概要】

【 0 0 0 6 】

本発明の第1の側面によれば、ターゲット構造からオーバーレイメトリックを決定する

50

方法であって、ターゲット構造の測定に関連する角度分解分布スペクトルデータを取得し、前記角度分解分布スペクトルデータは対称成分を含み、前記角度分解分布スペクトルデータから、前記ターゲット構造のフィーチャのオーバーレイ依存輪郭を決定し、前記輪郭から前記オーバーレイメトリックを決定する方法が提供される。

【0007】

本発明の第2の側面によれば、基板上にターゲット構造を形成する方法であって、層のマスクされた領域とマスクされていない領域を定義するマスクを含むマスクされた層に、露光されたフィーチャを露光し、露光されたフィーチャの第1の部分が前記層のマスクされた領域に露光され、露光されたフィーチャの第2の部分が前記層のマスクされていない領域に露光されるようにし、第2の部分に対する第1の部分のサイズはオーバーレイに依存し、エッチングされたフィーチャを定めるエッチングステップを実行し、前記エッチングされたフィーチャは、露光されたフィーチャの前記第2の部分に対応する方法が提供される。

10

【0008】

本発明の第3の側面によれば、基板上的構造上に測定放射線を投影するための投影光学系と、前記構造による前記測定放射線の散乱から得られる測定応答を得るように動作可能な検出装置と、プロセッサとを含み、プロセッサは、第1の側面による方法を実行するよう動作可能である検査装置が提供される。

【0009】

本発明の第4の側面によれば、露光照射を提供する照射源、前記露光照射をパターン化するパターンングデバイスを保持するためのレチクルステージ、及び基板を保持する基板ステージを含むリソグラフィ露光装置を含み、前記リソグラフィ露光装置は、第2の側面による露光ステップを実行するよう動作可能である製造装置が提供される。

20

【0010】

本発明の第5の側面によれば、機械可読命令の1つ又は複数のシーケンスを含むコンピュータプログラム製品であり、命令は、1つ又は複数のプロセッサに第1の側面による方法を実行させるように適合されている、コンピュータプログラム製品が提供される。

【0011】

本発明のさらなる特徴及び利点、並びに本発明の様々な実施形態の構造及び動作は、添付の図面を参照して以下に詳細に説明される。本発明は、本明細書に記載の特定の実施形態に限定されないことに留意すべきである。そのような実施形態は、例示のみを目的としてここに提示されている。追加の実施形態は、本明細書に含まれる教示に基づいて、関連技術の当業者には明らかであろう。

30

【0012】

本明細書に組み込まれ、明細書の一部を形成する添付の図面は、本発明の原理を説明すると共に、関連技術の当業者が発明を使用するのを可能にするのに役立つ。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】図1は、リソグラフィ装置を示す。

【図2】図2は、リソグラフィセル又はクラスターを示す。

40

【図3】図3は、第1のスカトロメータを示す。

【図4】図4は、第2のスカトロメータを示す。

【図5】図5は、スカトロメータ測定値から構造を再構成するために本発明の実施形態を使用する第1のプロセス例を示す。

【図6】図6は、スカトロメータ測定値から構造を再構成するために本発明の実施形態を使用する第2のプロセス例を示す。

【図7】図7は、(a)ピアを露光する自己整合BEOFプロセスの第1ステップ、及び(b)ピアをエッチングする自己整合BEOFプロセスの第2ステップを概略的に示す。

【図8】図8は、(a)本発明の第1の実施形態によるターゲットを形成するためにピアを露光する自己整合BEOLプロセスの第1ステップ、及び(b)本発明の第1の実施形

50

態によるターゲットを形成するピアをエッチングする自己整合B E O Lプロセスの第2ステップを概略的に示す。

【図9】図9(a)から(c)はそれぞれ、3つの異なるオーバーレイ値について、図8に示されるステップによって形成されるターゲットの詳細を概略的に示す。

【図10】図10は、(a)本発明の第2の実施形態によるターゲットを形成するためにピアを露光する自己整合B E O Lプロセスの第1ステップ、及び(b)本発明の第2の実施形態によるターゲットを形成するピアをエッチングする自己整合B E O Lプロセスの第2ステップを概略的に示す。

【発明を実施するための形態】

【0014】

本発明の特徴及び利点は、図面と併せて以下に述べる詳細な説明からより明らかになる。図面において、同様の参照文字は、全体を通して対応する要素を識別している。図面において、同様の参照番号は、概して、同一、機能的に類似、及び/又は構造的に類似の要素を示す。要素が最初に現れる図面は、対応する参照番号の左端の数字によって示される。

【0015】

本明細書は、本発明の特徴を組み込んだ1つ又は複数の実施形態を開示している。開示された実施形態は、本発明を単に例示するものである。本発明の範囲は、開示された実施形態に限定されない。本発明は、添付の特許請求の範囲によって定義される。

【0016】

記載された実施形態、及び本明細書における「一実施形態」、「実施形態」、「実施形態例」などへの言及は、記載された実施形態が特定の特徵、構造、又は特徴を含み得ることを示すが、すべての実施形態は、特定の特徵、構造、又は特徴を必ずしも含んでいないかもしれない。さらに、そのような語句は、必ずしも同じ実施形態を指すとは限らない。さらに、特定の特徵、構造、又は特徴が実施形態に関連して説明されている場合、明確に説明されているか否かにかかわらず、他の実施形態に関連してそのような特徴、構造、又は特徴を実現することは当業者の知識の範囲内であることを理解すべきである。

【0017】

本発明の実施形態は、ハードウェア、ファームウェア、ソフトウェア、又はそれらの任意の組み合わせで実装することができる。本発明の実施形態は、1つ又は複数のプロセッサによって読み取られ、実行される機械可読媒体に格納された命令として実装することもできる。機械可読媒体は、機械(例えば、コンピューティングデバイス)によって読み取り可能な形式で情報を保存又は送信するための任意のメカニズムを含むことができる。例えば、機械可読媒体には、読み取り専用メモリ(ROM)、ランダムアクセスメモリ(RAM)、磁気ディスク記憶媒体、光学記憶媒体、フラッシュメモリデバイス、電氣的、光学的、音響的又は他の形式の伝播信号(例えば、搬送波、赤外線信号、デジタル信号など)、及びその他が含まれる場合がある。さらに、ファームウェア、ソフトウェア、ルーチン、命令は、特定のアクションを実行するものとして本明細書に記載される場合がある。ただし、そのような説明は単に便宜上のものであり、そのようなアクションは、実際には、コンピューティングデバイス、プロセッサ、コントローラ、又はファームウェア、ソフトウェア、ルーチン、命令などを実行する他のデバイスから生じることを理解すべきである。

【0018】

しかしながら、そのような実施形態をより詳細に説明する前に、本発明の実施形態を実施することができる例示的な環境を提示することは有益である。

【0019】

図1は、リソグラフィ装置を概略的に示す。この装置は、放射ビームB(例えば、UV放射又はDUV放射)を調整するように構成された照射システム(イルミネータ)ILと、パターンングデバイス(例えば、マスク)MAを支持するように構成され、かつ特定のパラメータに従ってパターン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に接続されたサポート構造MTと、基板(例えば、レジストコーティングさ

10

20

30

40

50

れたウエハ) Wを保持するように構成され、かつ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 P Wに接続された基板テーブル(例えば、ウエハテーブル) W Tと、パターニングデバイス M Aによって放射ビーム Bに与えられたパターンを基板 Wのターゲット部分 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) P Lとを含む。

【0020】

照射システムは、放射を方向付け、成形、又は制御するために、屈折、反射、磁気、電磁、静電又は他のタイプの光学部品、又はそれらの任意の組み合わせなどの様々なタイプの光学部品を含むことができる。

【0021】

サポート構造はパターニングデバイスを支持する、すなわちその重量を支える。それは、パターニングデバイスの向き、リソグラフィ装置の設計、及び例えばパターニングデバイスが真空環境に保持されるかどうかなどの他の条件に依存する方法でパターニングデバイスを保持する。サポート構造は、パターニングデバイスを保持するために、機械的、真空、静電的又は他のクランプ技術を使用することができる。サポート構造は、例えば、フレーム又はテーブルであってよく、必要に応じて固定又は可動であり得る。サポート構造は、パターニングデバイスが、例えば投影システムに対して所望の位置にあることを保証することができる。本明細書における「レチクル」又は「マスク」という用語の使用は、より一般的な用語「パターニングデバイス」と同義であると見なすことができる。

【0022】

本明細書で使用される「パターニングデバイス」という用語は、基板のターゲット部分にパターンを作成するなど、その断面にパターンを有する放射ビームを与えるために使用できる任意のデバイスを指すものとして広く解釈されるべきである。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機能又はいわゆるアシスト機能を含む場合、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対応しないことがあることに留意すべきである。一般に、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作成されるデバイスの特定の機能層に対応する。

【0023】

パターニングデバイスは、透過性又は反射性であり得る。パターニ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、プログラマブルLCDパネルなどがある。マスクはリソグラフィでよく知られており、バイナリ、交互位相シフト、減衰位相シフトなどのマスクタイプ、及びさまざまなハイブリッドマスクタイプが含まれる。プログラマブルミラーアレイの例では、小さなミラーのマトリックス配置を使用する。各ミラーは、入射放射線ビームを異なる方向に反射するように個別に傾斜できる。傾斜したミラーは、ミラーマトリックスによって反射される放射ビームにパターンを与える。

【0024】

本明細書で使用される「投影システム」という用語は、使用される露光放射線に応じて又は液浸液の使用や真空の使用など、その他の要因に応じて、屈折、反射、反射屈折、磁気、電磁気、静電光学システム、又はそれらの任意の組み合わせを含む、あらゆるタイプの投影システムを含むと広く解釈されるべきである。本明細書における「投影レンズ」という用語の使用は、より一般的な「投影システム」という用語と同義であると見なすことができる。

【0025】

ここに示されているように、装置は透過型である(例えば、透過型マスクを使用する)。あるいは、装置は、(例えば、上記の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)反射型であってもよい。

【0026】

リソグラフィ装置は、2つ(デュアルステージ)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よい。このような「多段階」マシンでは、追加のテーブルを並行して使用するが、1つ又は複数の他のテーブルを露光に

10

20

30

40

50

使用しながら、1つ又は複数のテーブルで準備ステップを実行することができる。

【0027】

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満たすように、基板の少なくとも一部が比較的高い屈折率を有する液体、例えば水で覆われているタイプであってもよい。リソグラフィ装置内の他の空間、例えばマスクと投影システムとの間にも液浸液を適用することができる。投影システムの開口数を増加させるための液浸技術は、当技術分野で周知である。本明細書で使用される「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ことを意味するのではなく、露光中に液体が投影システムと基板との間に位置することを意味するだけである。

【0028】

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。例えば、光源がエキシマレーザーである場合、光源とリソグラフィ装置は別個のエンティティであってもよい。このような場合、光源はリソグラフィ装置の一部を形成するとは見なされず、放射ビームは、例えば適切な方向付けミラー及び/又はビームエキスパンダーのようなビーム送達システムBDの助けにより光源SOからイルミネータILに送られる。他の場合、例えば、光源が水銀ランプである場合、光源はリソグラフィ装置の一体部分であってもよい。光源SO及びイルミネータILは、必要に応じてビーム送達システムBDとともに、放射システムと呼ばれることがある。

【0029】

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ためのアジャスタADを含むことができる。一般に、イルミネータの瞳面における強度分布の少なくとも外側及び/又は内側の半径方向範囲（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。さらに、イルミネータILは、インテグレートIN及びコンデンサCOなどの様々な他のコンポーネントを含むことができる。イルミネータは、放射ビームを調整して、その断面に所望の均一性及び強度分布を持たせるために使用することができる。

【0030】

放射ビームBは、サポート構造（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を横切ると、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に焦点を合わせる。第2のポジシヨナPW、及びポジシヨンセンサIF（干渉デバイス、リニアエンコーダ、2-Dエンコーダ又は静電容量センサー）の助けにより、基板テーブルWTは、例えば、放射ビームBの経路に異なるターゲット部分Cを配置するように正確に移動することができる。同様に、第1のポジシヨナPM及び別のポジシヨンセンサ（図1には明示的に示されていない）を使用して、例えば、マスクライブラリからの機械的検索後、又はスキャン中に、放射線ビーム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。一般に、マスクテーブルMTの移動は、第1のポジシヨナPMの一部を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）を用いて実現することができる。同様に、基板テーブルWTの移動は、第2のポジシヨナPWの一部を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使用して実現することができる。ステッパ（スキャナではなく）の場合、マスクテーブルMTは、ショートストロークアクチュエータのみに接続するか、固定することができる。マスクMA及び基板Wは、マスク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。図示されている基板アライメントマークは、専用のターゲット部分を占めているが、ターゲット部分間のスペースに配置することもできる（これらは、スクライプレー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2つ以上のダイが提供される状況では、マスクアライメントマークはダイの間に位置することができる。

【0031】

10

20

30

40

50

図示の装置は、次のモードの少なくとも1つで使用できる：

1. ステップモードでは、マスクテーブルMT及び基板テーブルWTは本質的に静止したままであり、放射線ビームに与えられるパターン全体が一度にターゲット部分Cに投影される（すなわち、単一の静的露光）。次に、基板テーブルWTがX及び/又はY方向にシフトされ、異なるターゲット部分Cを露光できるようにする。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、1回の静的露光で画像化されるターゲット部分Cのサイズが制限される。

2. スキャンモードでは、マスクテーブルMTと基板テーブルWTが同期してスキャンされ、放射線ビームに与えられたパターンがターゲット部分Cに投影される（すなわち、単一の動的露光）。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（縮小）拡大及び画像反転特性によって決定することができる。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、1回の動的露光におけるターゲット部分の幅（非スキャン方向）が制限される。一方、スキャン動作の長さによって対象部分の高さ（スキャン方向）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本質的に静止した状態に保たれ、基板テーブルWTは、放射線ビームに与えられたパターンがターゲット部分Cに投影される間、移動又はスキャンされる。放射線源が使用され、プログラマブルパターンングデバイスは、基板テーブルWTの各移動の後、又はスキャン中の連続する放射線パルスの間で必要に応じて更新される。この動作モードは、上で言及した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形成デバイスを利用するマスクレスリソグラフィに容易に適用することができる。

【0032】

上記の使用モードの組み合わせ及び/又は変形、又は完全に異なる使用モードを使用することもできる。

【0033】

図2に示すように、リソグラフィ装置LAはリソグラフィセルLCの一部を形成する。リソグラフィセルLCは、リソセル又はクラスターとも呼ばれることもあり、基板上で露光前及び露光後プロセスを実行するための装置も含まれる。従来、これらには、レジスト層を堆積するスピニングコートSC、露光されたレジストを現像するデベロッパDE、チルプレートCH及びベークプレートBKが含まれる。基板ハンドラー又はロボットROは、入力/出力ポートI/O1、I/O2から基板をピックアップし、それらを異なるプロセス装置間で移動してから、リソグラフィ装置のローディングベイLBに配送する。トラックと総称されることが多いこれらのデバイスは、監視制御システムSCSによって制御されるトラック制御ユニットTCUの制御下であり、監視制御システムSCSは、リソグラフィ制御ユニットLCUを介してリソグラフィ装置も制御する。したがって、異なる装置を操作して、スループットと処理効率を最大化することができる。

【0034】

リソグラフィ装置によって露光される基板が正しく一貫して露光されるためには、露光された基板を検査して、後続の層間のオーバーレイエラー、線の厚さ、クリティカルディメンション(CD)などの特性を測定することが望ましい。エラーが検出された場合、特に検査を迅速かつ迅速に行うことができ、同じバッチの他の基板がまだ露光されていない場合は、後続の基板の露光を調整することができる。また、歩留まりを改善するために、すでに露光された基板を剥がして再加工するか、又は廃棄することができ、それにより、欠陥があることがわかっている基板上での露光の実行を回避できる。基板の一部のターゲット部分のみに欠陥がある場合、それらの良好なターゲット部分に対してのみ追加の露光を行うことができる。

【0035】

検査装置は、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よいように変化するかを決定するために使用される。検査装置は、リソグラフィ装置LA又はリソセルLCに統合されてもよいし、スタンドアロンデバイスであってもよい。最も迅

10

20

30

40

50

速な測定を可能にするために、検査装置は、露光直後に露光されたレジスト層の特性を測定することが望ましい。ただし、レジストの潜像はコントラストが非常に低く、放射線に露光した部分と露光していない部分の屈折率の差は非常に小さく、すべての検査装置が潜像の有用な測定を行うのに十分な感度を備えているわけではない。したがって、露光後ベーク工程（PEB）の後に測定を行うことができる。これは、露光基板上で通常行われる最初の工程であり、レジストの露光部分と未露光部分との間のコントラストを高める。この段階で、レジスト内の画像はセミ潜在と呼ばれることがある。現像されたレジスト像の測定を行うことも可能であり、その時点でレジストの露光部分又は未露光部分のいずれかが除去されている。後者の可能性は、欠陥のある基板の再加工の可能性を制限するが、それでも有用な情報を提供する可能性がある。

10

【0036】

図3は、本発明の一実施形態で使用できるスカトロメータを示す。これは、基板W上に放射を投射する広帯域（白色光）放射投射器2を備える。反射放射は、鏡面反射放射のスペクトル10（波長の関数としての強度）を測定する分光計検出器4に渡される。このデータから、検出されたスペクトルを生じさせる構造又はプロファイルが、処理ユニットPUによって、例えば、従来の厳密結合波分析（RCWA）及び非線形回帰によって、又は図3下部に示すようにシミュレートされたスペクトルのライブラリとの比較によって再構築される。一般に、再構成のために、構造の一般的な形が知られており、構造が作られたプロセスの知識からいくつかのパラメータが仮定され、スカトロメトリデータから決定される構造のいくつかのパラメータのみが残る。このようなスカトロメータは、垂直入射スカトロメータ又は斜入射スカトロメータとして構成することができる。

20

【0037】

本発明の一実施形態で使用できる別のスカトロメータを図4に示す。このデバイスでは、放射線源2によって放出された放射線は、レンズシステム12を使用して干渉フィルタ13及び偏光子17を介して集束され、部分反射面16によって反射され、高い開口数（NA）、好ましくは少なくとも0.9、より好ましくは少なくとも0.95を有する顕微鏡対物レンズ15を介して基板W上に集束される。液浸スカトロメータには、開口数が1を超えるレンズさえある場合がある。次に、反射放射線は、散乱スペクトルを検出するために、部分反射面16を透過して検出器18に入る。検出器は、レンズ系15の焦点距離にある逆投影瞳面11に配置することができるが、代わりに瞳面を補助光学系（図示せず）で検出器上に再結像することができる。瞳面は、放射の半径方向の位置が入射角を定義し、角度位置が放射の方位角を定義する平面である。検出器は、基板ターゲット30の二次元角度散乱スペクトルを測定できるように二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センサーのアレイとすることができ、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

【0038】

参照ビームは、たとえば入射放射線の強度を測定するためによく使用される。これを行うために、放射ビームがビームスプリッター16に入射すると、その一部はビームスプリッターを透過して、参照ビームとして参照ミラー14に向かう。次に、参照ビームは、同じ検出器18の異なる部分に投影される。

40

【0039】

例えば、405～790nm、又は200～300nmなどのさらに低い範囲の対象波長を選択するために、一組の干渉フィルタ13を利用可能である。干渉フィルタは、異なるフィルタのセットを含むのではなく、調整可能であってもよい。干渉フィルタの代わりにグレーティングを使用することもできる。

【0040】

検出器18は、単一の波長（又は狭い波長範囲）における散乱光の強度、複数の波長における個別の強度、又は波長範囲にわたって統合された強度を測定することができる。さらに、検出器は、横磁気偏光と横電気偏光の強度、及び/又は横磁気偏光と横電気偏光の間の位相差を別々に測定することができる。

50

【 0 0 4 1 】

広帯域光源（つまり、光の周波数又は波長の範囲が広い、つまり色の光源）を使用すると、大きなエテンデュが得られ、複数の波長を混合できる。広帯域内の複数の波長は、好ましくはそれぞれ、 λ の帯域幅及び少なくとも 2λ の間隔（すなわち、帯域幅の2倍）を有する。いくつかの「光源」は、ファイバー束を使用して分割された拡張放射源の異なる部分であるのがよい。このようにして、角度分散乱スペクトルを複数の波長で並行して測定できる。2次元スペクトルよりも多くの情報を含む3次元スペクトル（波長と2つの異なる角度）を測定できる。これにより、より多くの情報を測定できるようになり、計測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 により詳細に説明されている。

10

【 0 0 4 2 】

基板W上のターゲット30は、現像後に印刷されたグレーティングであってもよく、バーは、実線のレジスト線で形成される。あるいは、バーを基板にエッチングすることもできる。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PLにおける色収差に敏感であり、照射対称性及びそのような収差の存在は、印刷されたグレーティングの変化として現れる。したがって、印刷されたグレーティングのスカトロメトリデータは、グレーティングを再構成するために使用される。線幅及び形状などのグレーティングのパラメータは、印刷ステップ及び/又は他のスカトロメトリプロセスの知識から、処理ユニットPUによって実行される再構成プロセスに入力されてもよい。

20

【 0 0 4 3 】

モデリング

メトロロジにおける厳密な光回折理論の目的は、ターゲットから反射される回折スペクトルを効果的に計算することである。ターゲットは、測定のために意図的に提供されたもの（例えば、グレーティング）であっても、測定を必要とする実際のデバイス構造であっても、どのようなターゲットでもよい。CD（クリティカルディメンション）均一性とオーバーレイ計測のためにターゲット形状情報が取得される。オーバーレイ計測は、基板上の2つの層が整列しているかどうかを判断するために、2つのターゲットのオーバーレイを測定する測定システムである。CD均一性は、リソグラフィ装置の露光システムがどのように機能しているかを判断するための、スペクトル上のグレーティングの均一性の単純な測定値である。具体的には、CD又はクリティカルディメンションは、基板上に「書き込まれる」オブジェクトの幅であり、リソグラフィ装置が基板上に物理的に書き込むことができる限界である。別の指標であるエッジ配置エラー（EPE）、基本的にオーバーレイとCDの組み合わせである。

30

【 0 0 4 4 】

上述のスカトロメータの1つをターゲット30などのターゲット構造のモデル化及びその回折特性と組み合わせて使用すると、構造の形状及び他のパラメータの測定は、多くの方法で実行することができる。図5に示す第1のタイプのプロセスでは、ターゲット形状（第1の候補構造）の第1の推定に基づく回折パターンが計算され、観察された回折パターンと比較される。次に、モデルのパラメータが体系的に変化し、回折が一連の反復で再計算され、新しい候補構造が生成され、最適な適合が得られる。図6に示す2番目のタイプのプロセスでは、多くの異なる候補構造の回折スペクトルを事前に計算して、回折スペクトルの「ライブラリ」を作成する。次に、測定対象から観察された回折パターンを計算されたスペクトルのライブラリと比較して、最適なフィットを見つける。両方の方法を一緒に使用してもよい。ライブラリから粗いフィットを取得し、その後反復プロセスを実行して最適なフィットを見つけてもよい。

40

【 0 0 4 5 】

図5をより詳細に参照して、目標形状及び/又は材料特性の測定が実行される方法を要約して説明する。この説明では、ターゲットは1次元（1-D）構造であると想定されている。実際には、それは2次元又は3次元であり、処理はそれに応じて適応される。

【 0 0 4 6 】

50

ステップ502では、基板上的実際のターゲットの応答、より具体的には回折パターンが、上記のようなスキャトロメータを使用して測定される。この測定された回折パターンは、コンピュータなどの計算システムに転送される。計算システムは、上述の処理ユニットPUであってもよいし、別個の装置であってもよい。

【0047】

ステップ503では、多数のパラメータ p_i (p_1 、 p_2 、 p_3 など)に関してターゲット構造のパラメータ化モデルを定義する「モデルレシピ」が確立される。これらのパラメータは、例えば、1D周期構造において、側壁の角度、特徴の高さ又は深さ、特徴の幅を表すことができる。ターゲット材料とその下にある層の特性は、屈折率(スキャトロメトリ放射ビームに存在する特定の波長で)などのパラメータによっても表される。以下に具体例を示す。重要なことに、ターゲット構造は、その形状と材料特性を説明する数十のパラメータによって定義される場合があるが、モデルレシピではこれらの多くが固定値を持つように定義され、一方、他は続くプロセスステップのために可変又は「浮動」にされる。図5を説明するために、変数パラメータのみをパラメータ p_i と見なす。

10

【0048】

ステップ504では、浮動パラメータ(すなわち、 $p_1^{(0)}$ 、 $p_2^{(0)}$ 、 $p_3^{(0)}$ 等)の初期値 $p_i^{(0)}$ を設定することにより、モデル目標形状が推定される。各浮動パラメータは、レシピで定義されているように、特定の事前定義された範囲内で生成される。

【0049】

ステップ506では、推定された形状を表すパラメータが、モデルのさまざまな要素の光学特性とともに、散乱特性を計算するために使用される。たとえば、RCWAなどの厳密な光学回折法又はマクスウェル方程式の他のソルバーを使用しする。これにより、推定されたターゲット形状の推定又はモデル回折パターンが得られる。

20

【0050】

次に、ステップ508及び510において、測定された回折パターンとモデルの回折パターンとが比較され、それらの類似点及び相違点がモデルのターゲット形状の「メリット関数」を計算するために使用される。

【0051】

ステップ512では、実際のターゲット形状を正確に表す前にモデルを改善する必要があることをメリット関数が示していると仮定すると、新しいパラメータ $p_1^{(1)}$ 、 $p_2^{(1)}$ 、 $p_3^{(1)}$ などが推定され、繰り返しステップ506にフィードバックされる。ステップ506～512が繰り返される。

30

【0052】

検索を支援するために、ステップ506の計算は、パラメータ空間のこの特定の領域において、パラメータの増減がメリット関数を増減する感度を示すメリット関数の偏導関数をさらに生成することができる。メリット関数の計算及び導関数の使用は、当技術分野で一般的に知られており、ここでは詳細には説明しない。

【0053】

ステップ514において、この反復プロセスが所望の精度で解に収束したことをメリット関数が示した場合、現在推定されているパラメータが実際のターゲット構造の測定値として報告される。

40

【0054】

この反復プロセスの計算時間は、主に使用される前方回折モデル、つまり、推定されたターゲット構造からの厳密な光学回折理論を使用した推定モデル回折パターンの計算によって決まる。より多くのパラメータが必要な場合は、より多くの自由度がある(この文脈(自由度)における「パラメータ」とは、マクスウェルソルバーの内部であり、上記の手順で説明したモデルパラメータとは異なり、典型的には多い)。計算時間は、原理的に自由度の累乗で増加する。

【0055】

506で計算された推定又はモデル回折パターン(又はより一般的には、応答)は、さ

50

さまざまな形で表現される。計算されたパターンがステップ510で生成された測定されたパターンと同じ形式で表現されている場合、比較は単純化される。例えば、モデル化されたスペクトルは、図3の装置によって測定されたスペクトルと簡単に比較できる。モデル化された瞳パターンは、図4の装置で測定された瞳パターンと簡単に比較できる。

【0056】

この図5以降の説明では、図4のスキヤトロメータが使用されることを前提として、「回折パターン」という用語が使用される。当業者は、教示を異なるタイプのスキヤトロメータ、又は他のタイプの測定機器に容易に適合させることができる。

【0057】

図6は、異なる推定ターゲット形状（候補構造）に対する複数のモデル回折パターンを事前に計算し、実際の測定と比較するためにライブラリに保存する別のプロセス例を示す。基本的な原理と用語は、図5のプロセスと同じである。図6プロセスのステップは次のとおりである：

【0058】

ステップ602では、ライブラリ生成処理を行う。ターゲット構造のタイプごとに個別のライブラリを生成できる。ライブラリは、測定装置のユーザーが必要に応じて作成してもよいし、装置の供給者が予め作成してもよい。

【0059】

ステップ603では、多数のパラメータ p_i （ p_1 、 p_2 、 p_3 など）に関してターゲット構造のパラメータ化モデルを定義する「モデルレシビ」が確立される。考慮事項は、反復プロセスのステップ503の場合と同様である。

【0060】

ステップ604では、パラメータ $p_1^{(0)}$ 、 $p_2^{(0)}$ 、 $p_3^{(0)}$ 等の第1のセットが、例えば、それぞれが期待される値の範囲内にあるすべてのパラメータのランダム値を生成することによって生成される。

【0061】

ステップ606では、パラメータによって表されるターゲット形状から予想される回折パターンを表すモデル回折パターンが計算され、ライブラリに格納される。

【0062】

ステップ608では、パラメータ $p_1^{(1)}$ 、 $p_2^{(1)}$ 、 $p_3^{(1)}$ などの新しいセットが生成される。ステップ606～608は、保存されたモデル化回折パターンのすべてを含むライブラリが十分に完全であると判断されるまで、数十、数百、又は数千回繰り返される。保存された各パターンは、多次元パラメータ空間のサンプルポイントを表す。ライブラリ内のサンプルは、実際の回折パターンが十分に密接に表現されるのに十分な密度でサンプル空間に配置する必要がある。

【0063】

ステップ610では、ライブラリが生成された後（前であってもよいが）、実際のターゲット30がスキヤトロメータに配置され、その回折パターンが測定される。

【0064】

ステップ612において、測定されたパターンは、ライブラリに格納されたモデル化されたパターンと比較され、最も一致するパターンを見出す。ライブラリ内のすべてのサンプルで比較を行うか、計算負荷を軽減するために、より体系的な検索戦略を採用することができる。

【0065】

ステップ614において、一致が見つかった場合、一致するライブラリパターンを生成するために使用される推定ターゲット形状は、近似オブジェクト構造であると決定することができる。マッチングしたサンプルに対応する形状パラメータが測定形状パラメータとして出力される。マッチングプロセスは、モデルの回折信号で直接実行することも、高速評価用に最適化された代替モデルで実行することもできる。

【0066】

10

20

30

40

50

ステップ 6 1 6 では、オプションとして、最も近い一致するサンプルが開始点として使用され、改良プロセスがレポート用の最終パラメータを取得するために使用される。この改良プロセスは、例えば、図 5 に示すものと非常に類似した反復プロセスを含むことができる。

【 0 0 6 7 】

ここで、オーバーレイメトリックの測定方法について説明する。この文脈では、オーバーレイメトリックは、オーバーレイ自体（レイヤー間の相対位置エラーの測定）及び/又はエッジ配置エラー（EPE）などの関連/派生メトリックを含むことができる。EPEは、パターン化プロセスによって作成された構造のエッジの位置にバリエーションをもたらす。一実施形態では、EPEはオーバーレイ値から導出される。一実施形態では、EPEは、オーバーレイ値とCD値との組み合わせから導出される。一実施形態では、エッジ配置は、オーバーレイ値、CD値、及び局所変動（例えば、個々の構造のエッジ粗さ、形状非対称性など）に対応する値の組み合わせから導出される。一実施形態では、EPEは、オーバーレイ及びCDエラーを組み合わせた極値（例えば、3標準偏差、すなわち3σ）を含む。特定の実施形態では、構造を作成し、構造に関してパターンニングプロセスによって提供されるパターンのエッチングによって構造の一部を除去することによって構造を「切断」することを含むマルチパターンニングプロセスにおいて、EPEは以下の形態を有することができる（又は次の項の1つ以上を含む）：

【 数 1 】

$$EPE = \sqrt{(3\sigma_{overlay})^2 + \left(\frac{3\sigma_{CDU structures}}{2}\right)^2 + \left(\frac{3\sigma_{CDU cuts}}{2}\right)^2} + \frac{3\sigma_{OPE,PBA}}{2} + 6\sigma_{LER,LPE}$$

【 0 0 6 8 】

ここで、 $\sigma_{overlay}$ は標準偏差、 $\sigma_{overlay}$ はオーバーレイの標準偏差に対応し、 $\sigma_{CDU structures}$ は、パターンニングプロセスで作成された構造のクリティカルディメンションの均一性（CDU）の標準偏差に対応し、 $\sigma_{CDU cuts}$ は、パターンニングプロセスで形成されたならば、カットのクリティカルディメンションの均一性（CDU）の標準偏差に対応し、 $\sigma_{OPE,PBA}$ は、光近接効果（OPE）及び/又は近接バイアス平均（PBA）の標準偏差に対応し、これはピッチのCDと基準CDの差であり、 $\sigma_{LER,LPE}$ はラインエッジラフネス（LER）及び/又はローカル配置エラー（LPE）の標準偏差に対応する。上記の定式化は標準偏差に関連しているが、分散などの別の同等の統計的方法で定式化することもできる。

【 0 0 6 9 】

現在、オーバーレイ又はEPEなどの派生オーバーレイメトリックを決定するためのオーバーレイ計測は、通常、構造の非対称性を測定し、測定された非対称性からオーバーレイを推測することに基づいて行われている。上記のように、高速で非侵襲的な専用計測ツールは、放射線ビームが基板の表面上のターゲットに向けられ、散乱（回折/反射）ビームの特性が測定されるものである。基板によって散乱された放射線の1つ又は複数の特性を評価することにより、基板の1つ又は複数の特性を決定することができる。これは、回折に基づく計測と呼ばれることがある。この回折に基づく計測のそのようなアプリケーションの1つは、ターゲット内の形状の非対称性の測定である。例えば、非対称性は、回折スペクトルの反対側の部分を比較することによって測定できる（例えば、周期的なグレーティングの回折スペクトルの-1次及び+1次を比較する）。これは、上記のように、また例えば、参照によりその全体が本明細書に組み込まれる米国特許出願公開US 2006-066855に記載されるように行うことができる。他の方法は、暗視野画像における強度を測定することを含み、例えば、そのような画像における-1次及び+1次の強度を比較することによる。別のオーバーレイメトリック技術は、製品解像度構造（グレーティングペアではなく）の構造非対称性の測定に基づいており、以降、AROMETROLOGI（解

像度でのオーバーレイメトロジ)と呼ばれる。A R Oメトロジは、参照により本明細書に組み込まれるP C T特許出願公開W O 2 0 1 7 / 1 4 9 0 0 9に記載されている。A R Oメトロジは、偏ったターゲットを必要としない再構成ベースのオーバーレイメトロジである。本明細書で説明されている方法は、「非対称瞳」又は非対称スペクトル/強度分布の測定に基づいている。非対称瞳は、対称強度分布成分が除去された瞳(瞳又はフーリエ平面で測定された強度分布)である。すなわち、特定の瞳画像ピクセルは、その特定の瞳画像ピクセルにおける強度から対称的に配置された瞳画像ピクセルの強度を差し引くことにより、対称強度分布成分を除去することができ、逆もまた同様である。

【0070】

ここで、これらの技法は効果的であるが、新しい測定技法、特に、構造非対称性の変化の測定に基づくことなく、対称構造の変化からオーバーレイメトリックを導き出すことができる技法を提供することが望ましい。一実施形態では、そのような方法は、瞳の対称成分を除去することなく、完全な瞳を使用することを含むことができる。対称コンポーネントを破棄しないことで、はるかに強力なオーバーレイメトリック信号が得られる。

10

【0071】

測定対象の構造が対称であるべきであることがわかっている一実施形態では、残留非対称瞳(非対称瞳成分)を使用して、信号の非対称性の(未知の)ソースをモデル化することができる。この新しいモデルを使用して、完全なウェハ/ターゲットを推測して、潜在的な非降伏ターゲット(つまり、非降伏ダイを示すターゲット)を見つけることができる。代替実施形態では、瞳の対称成分のみが使用され、それにより、(例えば、上記のように導出された非対称成分を除去することによって、又は同等の方法によって)望ましくない非対称性が除去される場合がある。これにより、残差が低く、より簡単に収束するモデルが得られる。

20

【0072】

そのような方法は、ターゲット構造から反射及び/又は回折された放射線から生じる(例えば0次及び/又はより高い回折次数を有する)、瞳(フーリエ)平面内の瞳(角度分解強度及び/又は位相分布)を測定することを含んでもよく、(例えば、C Dメトロジで使用されるような)上記のような再構成技法を使用して、ターゲット構造の形状の再構成を実行する。一実施形態では、そのような方法は、C Dとオーバーレイ(したがって、E P Eの測定値)の組み合わせ決定を提供する。これにより、通常、オーバーレイとC Dが異なる手法を使用して個別に測定される現在の方法と比較して、メトロジ速度とスループットが向上する。

30

【0073】

このようなアプローチを容易にするために、オーバーレイ依存プロファイルを有するターゲット構造を基板上に形成する必要があり、そこからオーバーレイメトリックを推測することができる。オーバーレイ依存プロファイルは、非対称性に依存する必要はなく、したがって、測定されるオーバーレイの方向に関して対称である可能性がある。

【0074】

次に、オーバーレイ依存プロファイルを定義する具体的な方法について説明する。

【0075】

40

この方法は、「自己整合」リソグラフィ技術に基づく。このような自己整合技術は、現在、バックエンドオンライン(B E O L)処理で通常使用されているが、これに限定されず、例えば、トランジスタ上にゲート接点を形成するためのライン(M O L)処理、又は他の集積回路製造プロセスのために、フロントエンドオンライン(F E O L)及び/又はミドルオンラインにも適用できる。

【0076】

自己整合プロセスフローでは、(エッチング前の)露光されたフィーチャの比較的微小な偏差が、エッチングされたフィーチャの位置に大きな変化をもたらさないように、エッチング選択性を使用して、例えば、フィーチャの輪郭を定めてターゲット構造又はフィーチャの位置決めを支援する。このように、エッチングステップは、層内のハードマスク又

50

は他のフィーチャ（結果として得られる金属フィーチャなど）に対して自己整合される特徴をもたらす。

【0077】

図7は、BEOL自己整合手順の2つのステップを概略的に示す特定の例を示す。この図は、(a)金属層を形成するための、ビア720が露光された誘電体層730上のハードマスクライン700及びハードマスクブロック710を示し、(b)ビア720'を誘電体730にエッチングするために、エッチング工程後の同じ配置を示す。一般に、オーバーレイとCDは、最終的なビア形状の形成に関与する。これは、相互接続の抵抗と最終的にはデバイスの歩留まりにとって重要である。エッチング工程では、露光したビア720を、ハードマスク700、710ではなく誘電体730のみにエッチングして、エッチングされたビア720'を得る。これを利用するために、露光されたビア720は大きく露光され、すなわち、エッチングされる誘電体730の幅に関して必要以上に大きい。このため、エッチングされたビア720'の形状及び機能性に大きな影響を与えることなく、ハードマスクライン500に対して、露光されたビア720のY方向において、及び露光されたビアの形状/輪郭又はCDについて、ある程度のマージン又は位置（すなわちオーバーレイ）の変化の余地がある。このように、エッチングされたビア720'のEPEは、露光されたビア720のCD又はオーバーレイの変動に対して大幅な柔軟性がある。

10

【0078】

図8及び図9は、瞳の対称成分を使用して測定及びオーバーレイを抽出できる解像度でのオーバーレイターゲットを提供する、上記の自己整合技術に基づく新しいターゲットコンセプトを示す。図8の配置は、図7の配置とほぼ同義であり、(a)はビア820が露光された誘電体830上のハードマスクライン800及びブロック810を示し、(b)は露光されたビア820を誘電体830にエッチングしてエッチングされたビア820'を得るためのエッチングステップ後の同じ配置を示す。このターゲット配置と図7の製品配置の違いは、ターゲット配置の場合、露光されたビア820'が図8(b)に示すものと同様の輪郭を有するよう、露光されたビア820とハードマスクライン800の位置の間にY方向の意図的なオーバーレイオフセットがあることである。オフセットは、(オーバーレイエラーがゼロであると仮定して)露光されたビア820が1つのハードマスクライン800のみに接触し、したがって、エッチングされた各ビア820'が半円形になるようにすることができる(もちろん、これは実際の製品構造の場合、非常に望ましくなく、したがってオフセットはメトロロジ目的の専用ターゲット領域にのみ実装する必要がある)。このように、オフセットは、(オーバーレイなしで)エッチングステップが露光されたビアの約半分(例えば、40%以上、45%以上)を除去するようなものであり得る。ただし、これは単なる例であり、他の形状や位置オフセットも可能である。

20

30

【0079】

そのようなターゲットは、1つ以上のターゲット領域(例えば、図7に示すような製品構造内の場所)で露光することができ、各ターゲット領域は、1つだけ、又は2つ以上のエッチングされたビア820'を含むことができる。ターゲットが複数のエッチングされたビア820'を含む場合、測定されたオーバーレイメトリックは、エッチングされた各ビア820'に対応する値の平均(又は他の組み合わせ)を含み得る。ターゲット820'は、測定に使用される製品構造720'と同じ又は同様のフィーチャサイズ、及び同じピッチを有することを理解すべきである。フィーチャサイズが小さいため、現在のスカトロメータでは単一のフィーチャ(エッチングビア)を単独で測定できない場合がある(ただし、将来のスカトロメータ又は走査型電子顕微鏡(SEM)デバイスでは可能になる可能性がある)。単一のフィーチャの測定が不可能な場合、測定は、エッチングされた複数のビア820'を再構築することを含み得る。この場合、オーバーレイ、CD、又はEPEの1つ又は複数を決断するために、平均値又は他の代表値を使用することができる。異常値は、平均化する前に選択的に削除できる。

40

【0080】

図9は、露光されたビア820及び対応するエッチングされたビア820'を、(a)第

50

1のY方向オーバーレイ値、(b)第2のY方向オーバーレイ値、及び(c)第3のY方向オーバーレイ値について示す。いずれの場合も、露光されたビア820と金属層のY方向の相対位置、したがってハードマスクライン800との間のY方向の相対位置は、同じになるように意図されている(つまり、ビアは同じ意図的なオフセットで露光されている)。図9(a)~(c)に示される配置の間では、オーバーレイエラー、及び/又はオーバーレイメトリック変動(例えば、EPEの変動)のみが生じる。いずれの場合も、エッチングされたビア820'の輪郭が大きく異なることがわかる。また、この実施形態の場合、輪郭はY軸の周りに本質的に対称であり、図9(a)、(b)及び(c)の輪郭の違いが非対称性に有意な変化をもたらさないことも分かる。

【0081】

スキットロメトリ測定は、この輪郭の変化に敏感である。特に、角度分解(瞳面)測定の(角度分解)強度及び/又は位相分布スペクトル(瞳)は、その対称成分を(又は対称成分のみを)含んでおり、この変化に敏感である。これはなぜなら、オーバーレイの変化は、フィーチャにシフトのみを引き起こすというよりもむしろ、測定されたフィーチャ(ビア820')の輪郭及び/又はCDに実際の変化をもたらすためである。したがって、分布スペクトルから輪郭を再構成し、再構成された輪郭からオーバーレイメトリックを導出することが提案されている。一実施形態において、再構成は、オーバーレイ及びCDを導出するために、CD及び輪郭の両方を(例えば、同時に)再構成する。一実施形態において、この導出されたオーバーレイ及びCDは、EPEを導出するために使用される(又は、EPEは、再構成された輪郭から直接導出される)。輪郭の再構成には、図5及び図6を参照して上で説明した方法のいずれかを使用できる。オーバーレイは、分布スペクトルから対称成分を削除するステップを除いて、前述のWO2017148982に記載されている方法を使用して分布スペクトルから推定することができる。このような方法では、オーバーレイに対するピクセルの感度に応じて測定分布の各ピクセルに重みを決定し、割り当てる。ピクセルは、オーバーレイを決定する重みに従って合計される。

【0082】

図10は、第2のBEOLの実施形態を示し、ここではY方向のオーバーレイに加えて(又はその代わりに)X方向を測定できる。前と同様に、この実施形態もCD、したがってEPEの同時測定を可能にする。図10の配置は、図8の配置とほぼ同義であり、(a)はビア1020が露光された誘電体1030上のハードマスク線1000及びブロック1010を示し、(b)は露光されたビア1020を誘電体1030にエッチングしてエッチングされたビア1020'を得るためのエッチングステップ後の同じ配置を示す。このターゲット配置と図8の製品配置との違いは、ビア1020がそれぞれ金属層のハードマスクブロック1010に隣接して部分的に重なり合っており露光されていることである。その結果、エッチングされたビア1020'は、X(及びY)のオーバーレイに依存する輪郭を有することになることが理解されよう。しかしながら、この実施形態に従って形成されたターゲットは、(製品構造と同じピッチを有する図8の実施形態とは対照的に)製品構造のピッチとは異なるピッチを有することができる。

【0083】

さらなる実施形態では、専用ターゲットを測定する代わりに、測定は実際の製品構造に対して実行されてもよく、例えば、ターゲット構造は、図7(b)に示されるような実際の製品構造を含んでもよい。このような実施形態では、小さなオーバーレイ/CD変動を測定することができない場合がある。ただし、デバイスが機能しなくなるのに十分な大きさのオーバーレイ/CD偏差でビアが形成された場合、自己整合プロセスにより、ここで説明する方法を使用して輪郭に測定可能な変化が生じる可能性がある。

【0084】

BEOLプロセスにおけるビア形成の特定の状況における上記の方法の利点は、ビアを測定するためのインラインメトリックを提供することである。現在、追加の金属層の形成を含む金属化ステップの後に、電気的手法を使用して(ビア内に形成された)相互接続の抵抗を測定している。ビアは相互接続抵抗を決定する上でより重要なパラメータの1つ

10

20

30

40

50

であるため、メタライゼーションの前にインライン散乱測定法を使用してビアを監視できると非常に有益である。さらに、これらの方法は、ビア形状の非破壊的なエッチング後測定を提供する。この測定値を使用して、ビアCDとオーバーレイを同時に（したがってEPE）推測又は再構築できる。この情報を使用して、スキャナ及び/又はエッチャーから生じるオーバーレイ及び/又はCD寄与の補正を決定することができ、適切な装置にフィードバックできる。

【0085】

本発明の実施形態は、図3及び図4を参照して説明された処理ユニットPU上で本明細書に記載された方法を実施することによって実施され、物体の近似構造を再構成するための検査装置を提供する。また、スキャトロメータを使用して計測を説明しているが、開示されたターゲット構造は、任意の他のタイプの適切な計測装置（例えば、SEM）を使用して測定することができる。

10

【0086】

図3又は4を参照して説明したプロセッサは、構造の電磁散乱特性を計算するための機械可読命令の1つ以上のシーケンスを含むコンピュータプログラムの制御下で動作することができ、命令はプロセッサにここで記載された方法を実行させる。

【0087】

本明細書では、ICの製造における検査装置の使用について具体的に言及したが、本明細書に記載の検査装置は、集積光学システム、誘導及び検出パターン、磁区メモリ、フラットパネルディスプレイ、液晶ディスプレイ（LCD）、薄膜磁気ヘッドの製造など、他の用途を有することができることを理解されたい。当業者は、そのような代替用途の文脈において、本明細書における用語「ウェハ」又は「ダイ」の使用は、より一般的な用語「基板」又は「ターゲット部分」とそれぞれ同義と見なされ得ることを理解するであろう。本明細書で言及される基板は、露光の前又は後に、例えばトラック（通常、基板にレジストの層を塗布し、露光されたレジストを現像するツール）、計測ツール及び/又は検査ツールで処理することができる。該当する場合、本明細書の開示は、そのような基板処理ツール及び他の基板処理ツールに適用されてもよい。さらに、基板は、例えば多層ICを作成するために複数回処理されることがあり、したがって、本明細書で使用される基板という用語は、すでに複数の処理層を含む基板を指す場合もある。

20

【0088】

上述の本発明の実施形態による方法は、図5及び6を参照して説明した、放射線による物体の照明から生じる回折パターンなどの検出された電磁散乱特性から物体の近似構造を再構築するための前方回折モデルに組み込むことができる。図3及び図4を参照して上で説明された処理ユニットPUは、この方法を使用してオブジェクトの近似構造を再構築するように構成され得る。

30

【0089】

本発明によるさらなる実施形態は、以下の番号が付けられた条項で説明される。

1. ターゲット構造からオーバーレイメトリックを決定する方法であって、ターゲット構造の測定に関連する角度分解分布スペクトルデータを取得し、前記角度分解分布スペクトルデータは対称成分を含み、

40

前記角度分解分布スペクトルデータから、前記ターゲット構造のフィーチャのオーバーレイ依存輪郭を決定し、

前記輪郭から前記オーバーレイメトリックを決定する、方法。

2. 前記角度分解分布スペクトルデータから前記ターゲット構造のフィーチャのオーバーレイ依存輪郭を決定するステップが、最初に前記対称成分を除去することなく、前記角度分解分布スペクトルデータから輪郭を決定することを含む、条項1に記載の方法。

3. オーバーレイ依存輪郭を決定する前記ステップは、ターゲット構造のパラメータ化された幾何学的モデルを使用してターゲット構造の再構築を実行することを含む、条項2に記載の方法。

4. 前記オーバーレイメトリックと同時に、前記輪郭からフィーチャのクリティカル

50

ディメンションを決定することをさらに含む、先行条項のいずれかに記載の方法。

5. オーバーレイメトリックは、オーバーレイ又はエッジ配置エラーを含む、先行する条項のいずれかに記載の方法。

6. 角度分解分布スペクトルデータは、エッチングステップの後に実行されるターゲット構造の測定に関連する、先行条項のいずれかに記載の方法。

7. 前記フィーチャが自己整合プロセスによって形成されたフィーチャを含み、エッチング工程中のエッチング選択性が、オーバーレイに依存して前記輪郭を定義する、条項6に記載の方法。

8. 前記フィーチャは、マスクされた層に対して意図的にオフセットして露光されたエッチングされたビアである、条項6又は7に記載の方法。

9. 前記意図的なオフセットは、オーバーレイなしで、前記露光したビアの約半分が前記エッチングステップ中に除去されるようなものであり、実際の除去量はオーバーレイに依存する、条項8に記載の方法。

10. 角度分解分布スペクトルデータを取得するためにスカトロメトリメトロジステップを実行することを含む、先行条項のいずれかに記載の方法。

11. 前記ターゲット構造は複数の前記フィーチャを含み、前記オーバーレイメトリックは、個々のフィーチャの各々について決定されたオーバーレイメトリックの個々の値の平均である、先行条項のいずれかに記載の方法。

12. 角度分解分布スペクトルデータから非対称成分を除去し、それにより、前記対称成分のみからオーバーレイ依存輪郭を決定することを含む、先行条項のいずれかに記載の方法。

13. 角度分解分布スペクトルデータにおける非対称成分の原因を決定することを含む、条項1から11のいずれかに記載の方法。

14. 非対称部品の決定された原因において歩留まり予測を行うことを含む、条項13に記載の方法。

15. 前記ターゲット構造を形成するために、露光及びエッチングステップを実行することを含む、先行条項のいずれかに記載の方法。

16. 基板上にターゲット構造を形成する方法であって、層のマスクされた領域とマスクされていない領域を定義するマスクを含むマスクされた層に、露光されたフィーチャを露光し、露光されたフィーチャの第1の部分が前記層のマスクされた領域に露光され、露光されたフィーチャの第2の部分が前記層のマスクされていない領域に露光されるようにし、第2の部分に対する第1の部分のサイズはオーバーレイに依存し、エッチングされたフィーチャを定めるエッチングステップを実行し、前記エッチングされたフィーチャは、露光されたフィーチャの前記第2の部分に対応する、方法。

17. 前記フィーチャが自己整合プロセスによって形成され、エッチング工程中のエッチング選択性が、オーバーレイに依存してエッチングされたフィーチャの輪郭を定める、条項16に記載の方法。

18. マスクされた領域とマスクされていない領域は、第1の部分と第2の部分が単一の方向に分割され、前記エッチングされたフィーチャの輪郭が第1の方向のみのオーバーレイに依存する、条項17に記載の方法。

19. 前記フィーチャは、前記第1の方向の軸の周りに実質的に対称である、条項18に記載の方法。

20. エッチングされた特徴が実質的に半円形の形状を有する、条項19に記載の方法。

21. 対象構造が、周囲の製品構造のピッチと同じピッチを有する複数の前記フィーチャを含む、条項18、19又は20に記載の方法。

22. 前記エッチングされたフィーチャの輪郭が2方向のオーバーレイに依存するように、マスクされた領域とマスクされていない領域が、第1の部分と第2の部分が2つの方向に分割される、条項17に記載の方法。

23. エッチングされた特徴が実質的に四分円の形状を有する、条項22に記載の方

10

20

30

40

50

法。

24. 露光フィーチャは、ビアを形成するための露光フィーチャに対応するが、マスク層に対して意図的にオフセットして露光される、条項16から23のいずれかに記載の方法。

25. 条項16から24のいずれかに記載の方法によって形成されたターゲット構造を含む基板。

26. 条項16から24のいずれかに記載の方法に従ってターゲット構造を露光するための相補的なパターンを含む一組のレチクル。

27. 検査装置であって、
基板上の構造上に測定放射線を投影するための投影光学系と、
前記構造による前記測定放射線の散乱から得られる測定応答を得るように動作可能な検出装置と

プロセッサとを含み、プロセッサは、条項1から14のいずれかの方法を実行するよう動作可能である、検査装置。

28. 製造装置であって、
露光照射を提供する照射源、
前記露光照射をパターン化するパターンニングデバイスを保持するためのレチクルステージ、及び

基板を保持する基板ステージを含むリソグラフィ露光装置を含み、
前記リソグラフィ露光装置は、条項16から24のいずれかの露光ステップを実行するよう動作可能である、製造装置。

29. 条項16から24のいずれかのエッチングステップを実行するためのエッチング装置を含む、条項28に記載の製造装置。

30. 条項28又は29に記載の製造装置と、条項27に記載の検査装置とを備えるリソグラフィセルであって、リソグラフィセルは、
オーバーレイメトリックを使用して、製造装置によって実行されている製造プロセスの修正を決定し、

上記の製造プロセスに続けて修正を使用する、リソグラフィセル。

31. 前記検査装置は、前記製造プロセスにおいてメタライゼーションステップを実行する前に、オーバーレイメトリックを決定するように動作可能である、条項30に記載のリソグラフィセル。

32. 機械可読命令の1つ又は複数のシーケンスを含むコンピュータプログラム製品であり、命令は、1つ又は複数のプロセッサに条項1から14のいずれかによる方法を実行させるように適合されている、コンピュータプログラム製品。

【0090】

上記では、光リソグラフィの文脈における本発明の実施形態の使用について特定の言及を行ってきたが、本発明は、他の用途、例えばインプリントリソグラフィにおいて使用することができ、文脈が許す場合は光リソグラフィに限定されないことを理解すべきである。インプリントリソグラフィでは、パターンニングデバイスのトポグラフィが基板上に作成されるパターンを定義する。パターンニ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の層に押し込まれ、電磁放射、熱、圧力、又はそれらの組み合わせを適用することによってレジストが硬化される。パターンニングデバイスは、レジストが硬化した後、レジストの中にパターンを残してレジストから移動される。

【0091】

本明細書で使用される「放射線」及び「ビーム」という用語は、紫外線(UV)放射線(例えば、波長が365、355、248、193、157又は126 nm又は約126 nm)及び極紫外線、紫外(EUV)放射線(例えば、5~20 nmの範囲の波長を有する)、並びにイオンビーム又は電子ビームなどの粒子ビームを含むすべてのタイプの電磁放射線を含む。

【0092】

10

20

30

40

50

「レンズ」という用語は、文脈が許す限り、屈折、反射、磁気、電磁、及び静電光学部品を含む、さまざまなタイプの光学部品のいずれか、又はそれらの組み合わせを指すことがある。

【0093】

「電磁」という用語は、電気及び磁気を包含する。

【0094】

以上、本発明の特定の実施形態を説明してきたが、本発明は、説明した以外の方法で実施できることを理解されたい。例えば、本発明は、上に開示した方法を説明する機械可読命令の1つ以上のシーケンスを含むコンピュータプログラム、又はそのようなコンピュータを有するデータ記憶媒体（例えば、半導体メモリ、磁気又は光ディスク）又はそこに格納されているプログラムの形をとることができる。

10

【0095】

発明の概要、及び要約書ではなく、詳細な説明のセクションは、クレームを解釈するために使用されることを理解すべきである。発明の概要及び要約セクションは、発明者によって意図される本発明のすべてではないが、1つ又は複数の例示的な実施形態を説明する場合があります、したがって、本発明及び添付の特許請求の範囲を決して限定することを意図するものではない。

【0096】

本発明が、特定の機能及びそれらの関係の実装を示す機能ビルディングブロックを使用して説明された。これらの機能的構成要素の境界は、説明の便宜上、本明細書で任意に定義されている。指定された機能とその関係が適切に実行される限り、代替境界を定義することができる。

20

【0097】

特定の実施形態の前述の説明は、本発明の一般的性質を完全に明らかにするので、第三者は、当業者が当業者の技術の範囲内の知識を適用することにより、過度の実験を行うことなく、本発明の一般的概念から逸脱することなく、そのような特定の実施形態を様々な用途に容易に変更及び/又は適応させることができる。したがって、そのような適合及び修正は、本明細書に提示された教示及びガイダンスに基づいて、開示された実施形態の同等物の意味及び範囲内にあることを意図している。本明細書の用語又は用語は、本明細書の用語又は用語が教示及びガイダンスに照らして当業者によって解釈されるように、本明細書の用語又は用語が限定ではなく説明を目的とすることを理解されたい。

30

【0098】

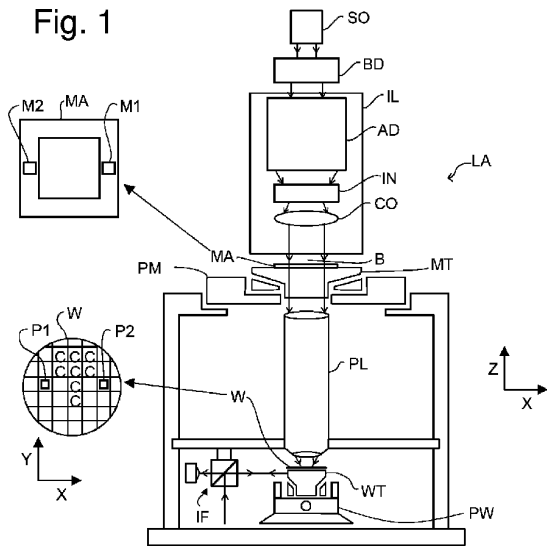
本発明の範囲及び範囲は、上記の例示的な実施形態のいずれにも限定されるべきではなく、以下の特許請求の範囲及びそれらの均等物に従ってのみ定義されるべきである。

40

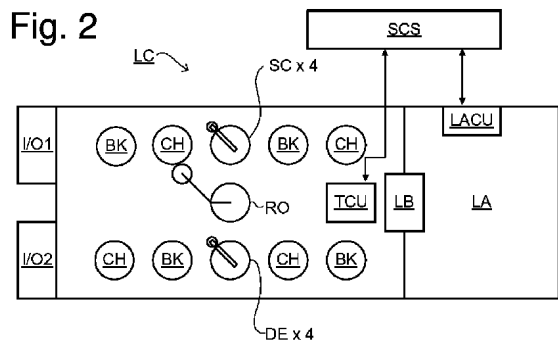
50

【図面】

【図 1】

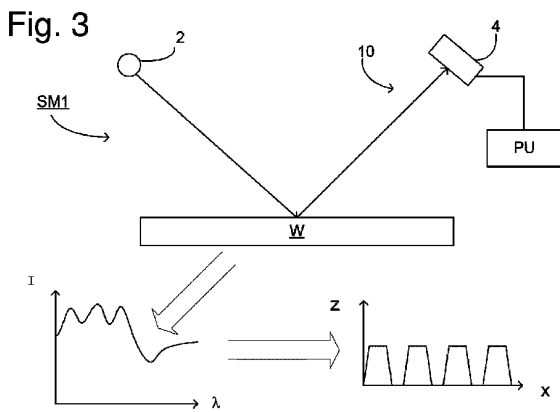


【図 2】

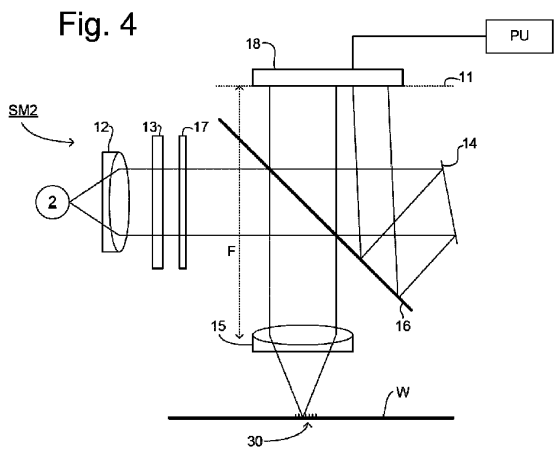


10

【図 3】



【図 4】



20

30

40

50

【 図 5 】

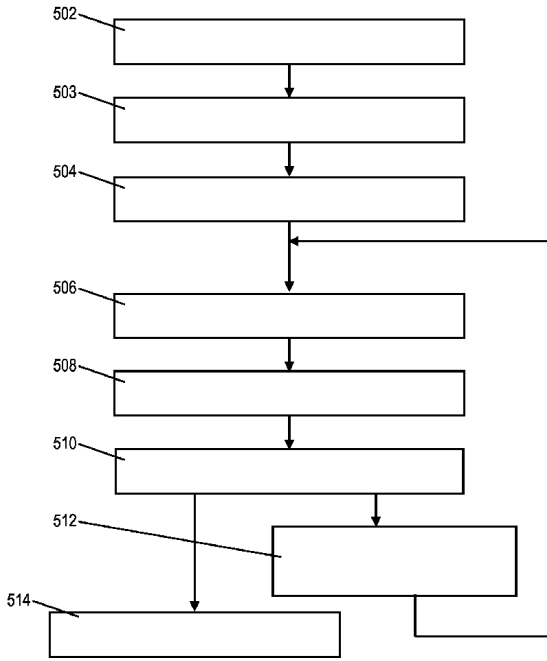


Fig. 5

【 図 6 】

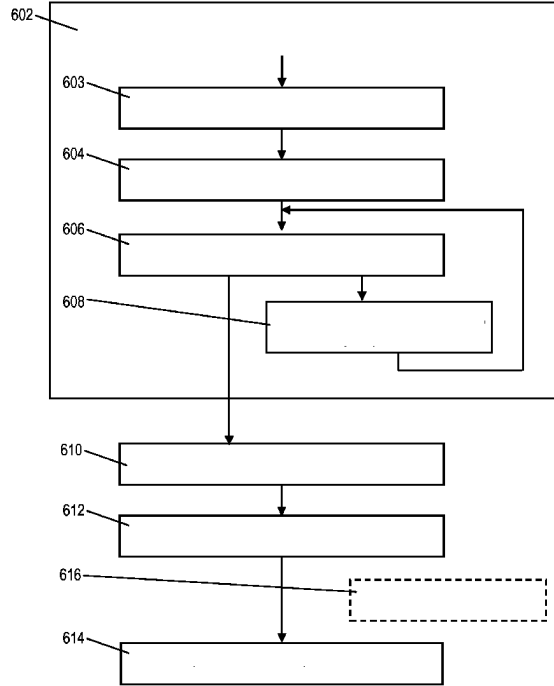
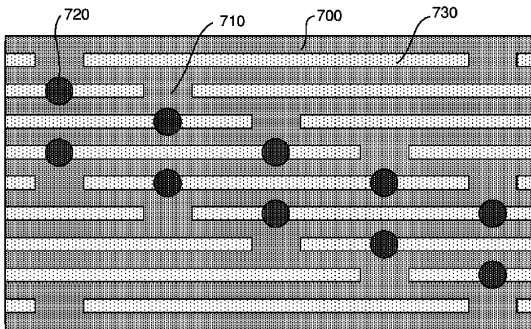
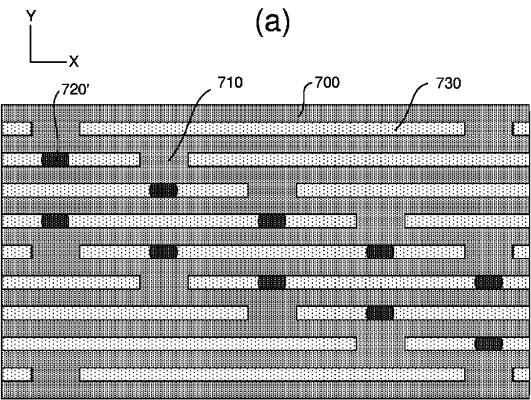


Fig. 6

【 図 7 】



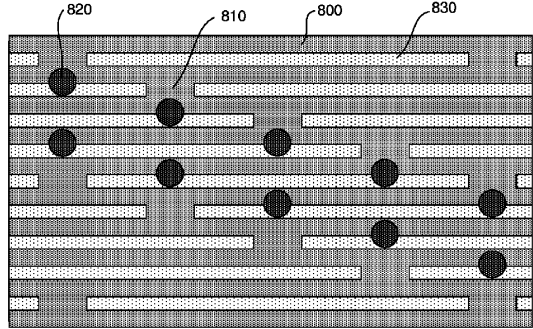
(a)



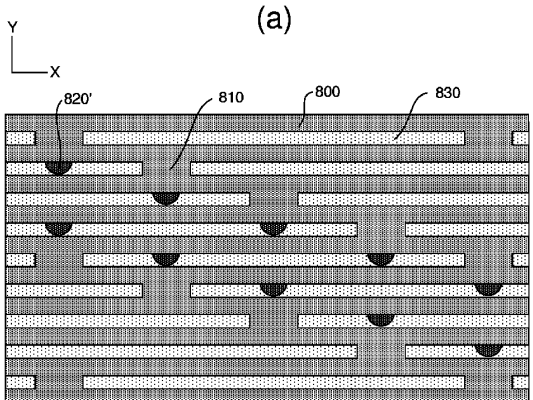
(b)

Fig. 7

【 図 8 】



(a)



(b)

Fig. 8

10

20

30

40

50

【 図 9 】

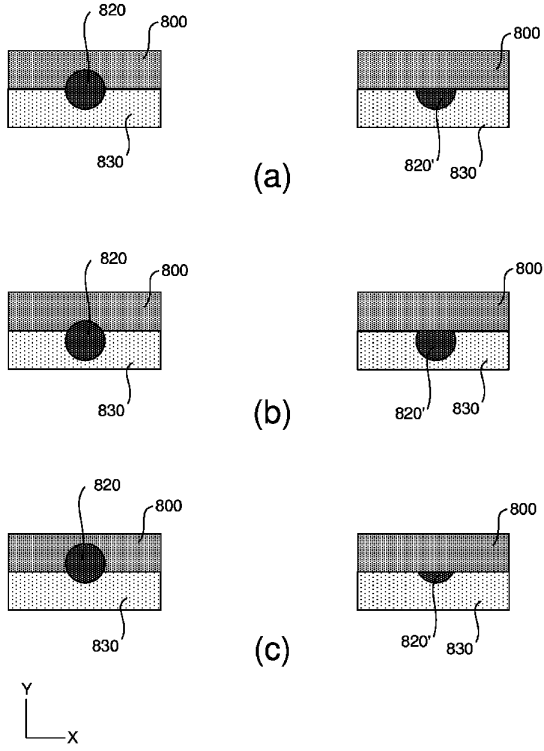
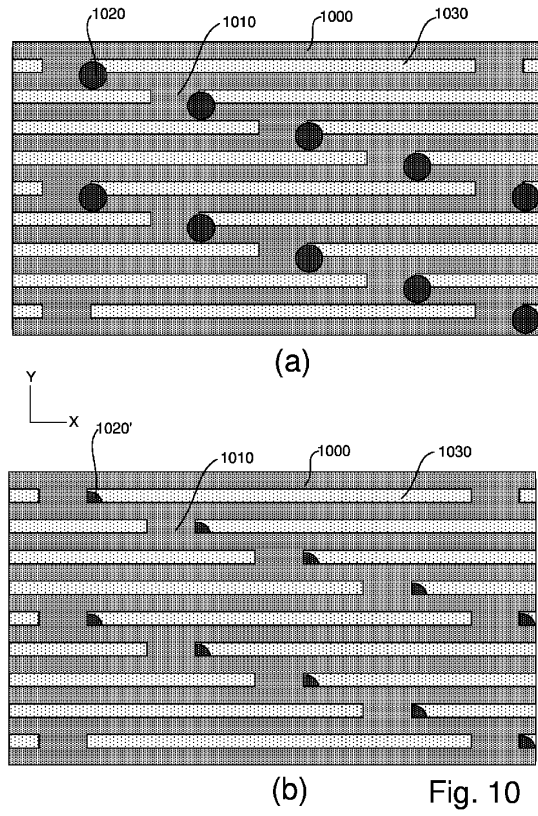


Fig. 9

【 図 10 】



(b)

Fig. 10

10

20

30

40

50

フロントページの続き

- オランダ国 ヴェルトホーフエン 5 5 0 0 エーエイチ , ピー . オー . ボックス 3 2 4
(72)発明者 ミセリ、ジャコモ
オランダ国 ヴェルトホーフエン 5 5 0 0 エーエイチ , ピー . オー . ボックス 3 2 4
(72)発明者 ヴェルマ、アロク
オランダ国 ヴェルトホーフエン 5 5 0 0 エーエイチ , ピー . オー . ボックス 3 2 4
審査官 植木 隆和
(56)参考文献 米国特許出願公開第 2 0 1 7 / 0 0 9 7 5 7 5 (U S , A 1)
米国特許出願公開第 2 0 1 8 / 0 2 3 9 2 6 3 (U S , A 1)
(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
H 0 1 L 2 1 / 0 2 7
G 0 3 F 7 / 2 0