

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2021-531502
(P2021-531502A)

(43) 公表日 令和3年11月18日(2021.11.18)

| | | |
|------------------------------|-----------------|-------------|
| (51) Int.Cl. | F I | テーマコード (参考) |
| G03F 1/72 (2012.01) | G03F 1/72 | 2H195 |
| G03F 1/84 (2012.01) | G03F 1/84 | 5F146 |
| G03F 1/24 (2012.01) | G03F 1/24 | |
| G03F 1/50 (2012.01) | G03F 1/50 | |
| H01L 21/027 (2006.01) | H01L 21/30 502D | |

審査請求 有 予備審査請求 未請求 (全 29 頁)

(21) 出願番号 特願2021-502613 (P2021-502613)
 (86) (22) 出願日 平成30年7月17日 (2018.7.17)
 (85) 翻訳文提出日 令和3年3月5日 (2021.3.5)
 (86) 国際出願番号 PCT/IB2018/055284
 (87) 国際公開番号 WO2020/016626
 (87) 国際公開日 令和2年1月23日 (2020.1.23)

(71) 出願人 519046797
 カール ツァイス エスエムエス リミテ
 ッド
 イスラエル 2015600 ディー. エ
 ス. ミスガフ パー レヴ インダストリ
 アル パーク ハドレヴ 3 ピーオーボ
 ックス 32
 (74) 代理人 100094569
 弁理士 田中 伸一郎
 (74) 代理人 100109070
 弁理士 須田 洋之
 (74) 代理人 100067013
 弁理士 大塚 文昭
 (74) 代理人 100086771
 弁理士 西島 孝喜

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 フォトリソグラフィマスクの基板に導入される1つまたは複数のピクセルの効果を決定するための方法および装置

(57) 【要約】

本発明は、フォトリソグラフィマスク(100、300)の基板(110、310)に導入される1つまたは複数のピクセルの効果を決定するための方法に関し、フォトリソグラフィマスク(100、300)は1つまたは複数のパターン要素(120、360)を有し、1つまたは複数のピクセルはフォトリソグラフィマスク(100、300)の1つまたは複数の誤差(190、390)を少なくとも部分的に補正するように機能し、方法は、1つまたは複数のパターン要素(120、360)を有するフォトリソグラフィマスク(100、300)の基板(110、310)の複屈折の変化を決定することによって、1つまたは複数の導入されるピクセルの効果を決定するステップを含む。

【選択図】 図1

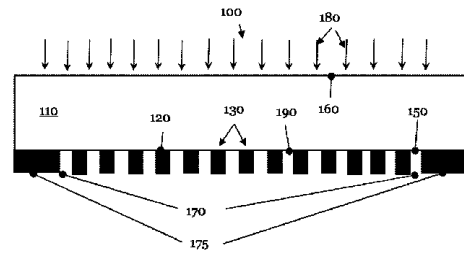


Fig. 1

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

フォトリソグラフィマスク（100、300）の基板（110、310）に導入される1つまたは複数のピクセルの効果を決定するための方法であって、前記フォトリソグラフィマスク（100、300）が1つまたは複数のパターン要素（120、360）を有し、前記1つまたは複数のピクセルが、前記フォトリソグラフィマスク（100、300）の1つまたは複数の誤差（190、390）を少なくとも部分的に修正するように機能し、前記方法が、

前記1つまたは複数のパターン要素（120、360）を有する前記フォトリソグラフィマスク（100、300）の前記基板（110、310）の複屈折の変化を決定することによって、前記1つまたは複数の導入されるピクセルの前記効果を決定するステップを含む、方法。

10

【請求項 2】

前記1つまたは複数の導入されるピクセルの前記効果を決定するステップが、前記フォトリソグラフィマスク（100、300）の前記基板（110、310）に前記1つまたは複数のピクセルを導入するために使用されるレーザシステム（730）の少なくとも1つのレーザビームパラメータの関数として前記複屈折の前記変化を決定することを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

前記フォトリソグラフィマスク（100、300）の前記1つまたは複数の誤差（190、390）を補正するために、前記フォトリソグラフィマスク（100、300）の前記基板（110、310）に前記1つまたは複数のピクセルを書き込むときに、前記決定された複屈折の変化に基づいて、前記レーザシステム（730）の前記少なくとも1つのレーザビームパラメータを制御するステップをさらに含む、請求項1または2に記載の方法。

20

【請求項 4】

前記複屈折の変化を決定することが、前記フォトリソグラフィマスク（100、300）の化学線波長よりも大きい波長を使用した透過型光学複屈折測定システム（400）を使用することを含む、請求項1～3のいずれか1項に記載の方法。

【請求項 5】

前記少なくとも1つのレーザビームパラメータが、前記レーザビーム（735）のパワー、前記レーザビーム（735）のパルス長、パルス密度、焦点幅、焦点深度、波長、波面、および偏光のうち少なくとも1つを含む、請求項1～4のいずれか1項に記載の方法。

30

【請求項 6】

前記基板（110、310）の光透過率変動を、前記少なくとも1つのレーザビームパラメータの関数として決定するステップをさらに含む、請求項1～5のいずれか1項に記載の方法。

【請求項 7】

前記複屈折の変化と、前記基板（110、310）に導入される前記1つまたは複数のピクセルによって生じる光透過率変動とを関連付けるステップをさらに含み、前記少なくとも1つのレーザビームパラメータがパラメータである、請求項1～6のいずれか1項に記載の方法。

40

【請求項 8】

前記少なくとも1つのレーザビームパラメータを制御するステップが、前記1つまたは複数のピクセルを前記基板（110、310）に導入することが、前記フォトリソグラフィマスク（100、300）の前記基板（110、310）の前記光透過率の前記変動の所定の閾値を局所的に超えないように、前記少なくとも1つのレーザビームパラメータの数値を制限することを含む、請求項1～7のいずれか1項に記載の方法。

【請求項 9】

50

前記1つまたは複数のピクセルを前記基板(110、310)に導入するために前記レーザーシステム(730)によって使用される前記波長での前記基板(110、310)の前記光透過率変動を決定するステップをさらに含む、請求項1~8のいずれか1項に記載の方法。

【請求項10】

前記光透過率変動を、前記1つまたは複数のピクセルが前記基板(110、310)に導入される前記基板(110、310)の深度および/または横方向位置の関数として決定するステップをさらに含む、請求項1~9のいずれか1項に記載の方法。

【請求項11】

前記基板(310)が、前記基板(310)の後面(370)上にコーティング(375)を有し、前記コーティング(375)が、導電性であり、前記1つまたは複数のピクセルが前記基板(310)に導入される波長で少なくとも部分的に光透過性である、請求項1~10のいずれか1項に記載の方法。

10

【請求項12】

前記複数のピクセルを前記基板(310)に導入するために前記レーザーシステム(730)によって使用される波長での前記基板(310)および/または前記コーティング(375)の前記光透過率変動を決定するステップをさらに含む、請求項11に記載の方法。

【請求項13】

前記基板(310)および/または前記コーティング(375)の前記光透過率変動を決定するステップが、前記光透過率の変動を前記フォトリソグラフィマスク(300)の前記基板(310)の横方向位置の関数として決定することを含む、請求項12に記載の方法。

20

【請求項14】

前記基板(310)および前記コーティング(375)の前記光透過率変動を、前記1つまたは複数のピクセルが前記基板(310)に導入される前記基板(310)の前記深度および/または前記横方向位置の関数として決定するステップをさらに含む、請求項12または13に記載の方法。

【請求項15】

コンピュータシステム(760)に、請求項1~14のいずれかに記載の前記ステップを実行させるための命令を含むコンピュータプログラム。

30

【請求項16】

フォトリソグラフィマスク(100、300)の基板(110、310)に導入される1つまたは複数のピクセルの効果を決定するための装置(400、800)であって、前記フォトリソグラフィマスク(100、300)が1つまたは複数のパターン要素(120、360)を有し、前記1つまたは複数のピクセルが、前記フォトリソグラフィマスク(100、300)の1つまたは複数の誤差(190、390)を少なくとも部分的に補正するように機能し、前記装置が、前記1つまたは複数のパターン要素(120、360)を有する前記フォトリソグラフィマスク(100、300)の前記基板(110、310)の複屈折の変化を決定することによって、前記1つまたは複数の導入される前記ピクセルの前記効果を決定するための手段を備える、装置。

40

【請求項17】

前記複屈折の変化を決定するための前記手段が、偏光計、楕円偏光計、および複屈折結像システム(400)のうちの少なくとも1つを含む、請求項16に記載の装置(400、800)。

【請求項18】

前記基板(110、310)および/または前記基板(110、310)上に配置されたコーティング(375)の光反射および/または光透過率を決定するように適合された光学測定システムをさらに備える、請求項16または17に記載の装置(400、800)。

50

【請求項 19】

前記装置(900)が、前記1つまたは複数の誤差(190、390)を補正するために使用されるピクセル書込みシステム(700)をさらに備える、請求項16~18に記載の装置(400、800)。

【請求項 20】

前記装置(400、800)が、請求項1~14のいずれかに記載の前記ステップを実行するように適合される、請求項16~19に記載の装置(400、800)。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本出願は、参照により全体が本明細書に明示的に組み込まれる、「Correction of errors of a photolithographic mask using a joint optimization process」という名称の米国特許第9658527号の利益を主張するものである。

【0002】

本発明は、フォトリソグラフィマスクの基板に導入される1つまたは複数のピクセル(pixel:画素)の効果を決定する分野に関する。詳細には、本発明は、フォトリソグラフィマスクの誤差を補正するための較正ルーチンを決定するための方法および装置に関する。

【背景技術】**【0003】**

半導体産業において集積密度が絶えず向上している結果として、フォトリソグラフィマスクは、ウェーハ上の感光性層、すなわちフォトレジストに、ますます小型の構造を投影しなければならない。この需要に応えるために、フォトリソグラフィマスクの露光波長は、電磁スペクトルの近紫外線領域から中紫外線領域を経て遠紫外線領域にシフトしてきた。現在、ウェーハ上のフォトレジストの露光には、典型的には193nmの波長が使用されている。将来的には、フォトリソグラフィマスクは、電磁スペクトルの極紫外線(EUV: extreme ultraviolet)波長域の極めて短い波長(約10nm~15nm)を使用することになる。

【0004】

その結果、高まる分解能要件を満たしたフォトリソグラフィマスクの製造は、より一層複雑になっており、それに伴いより一層高価にもなっている。フォトリソグラフィマスク、フォトマスク、または簡潔にはマスクの製造プロセスの最後で、それらのマスクに欠陥があることは珍しいことではない。マスクの製造プロセスは時間がかかるため、フォトマスクの欠陥は、可能な限り修復されるべきである。

【0005】

フォトリソグラフィマスクには、いくつかの種類またはタイプの誤差があり得る。フォトリソグラフィマスクの重要なタイプの欠陥は、マスク像の配置誤差またはレジストレーション(registration:記録)誤差である。このタイプの誤差または欠陥は、フォトリソグラフィマスク上に配置されたパターンの1つまたは複数のパターン要素が、マスクのレイアウトデータによって事前に決定されたそれらの位置に正確にない場合に発生する。

【0006】

WO2013/123973は、光学素子に、好ましくは光学素子の光学的に関連のない部分に、1つまたは複数のピクセル配列を導入することによって、光学部品の材料の複屈折(birefringence)によって生じる光学系内の光学素子の偏光欠陥を補償するための方法を説明している。

【0007】

さらなるタイプの誤差は、フォトリソグラフィマスクのエリア全体にわたる光透過率の不均一性であり、これは、マスクを用いてウェーハを照射するとき、ウェーハ上のフォ

10

20

30

40

50

トレジストに当てられる光強度線量または簡潔には線量のそれぞれの変動を招く。局所的に当てられる光強度線量または簡潔には線量の変動は、現像されたフォトリソグラフィマスクのパターン要素の構造寸法の増減または変動をもたらす。フォトリソグラフィマスクのエリア全体にわたるパターン要素の結像の均一性は、限界寸法均一性 (CDU: critical dimension uniformity) と呼ばれる。

【0008】

さらに、別の重要なタイプの欠陥は、オーバーレイ欠陥またはオンプロダクトオーバーレイ (OPO: On Product Overlay) である。この誤差タイプは、2つ以上の異なるフォトマスクを使用した2つ以上の後続する照射ステップによって結像されるウェーハ上の特徴要素の偏移に関連している。さらに、フォトマスクの基板の屈曲は、さらなるタイプの誤差である。

10

【0009】

出願人は、フォトマスクの基板にピクセルを導入するまたは書き込むことによって、フォトリソグラフィマスクのこれらの誤差および他の誤差を補正するための方法を開示した。たとえば、これらの方法のいくつかは、出願人の米国特許第9658527号に記載されている。さらに、出願人は、フォトマスクのいくつかの誤差タイプを確実に補正するためにすでに日常的に使用されているいくつかのツール (Reg C (登録商標)、Fortune (登録商標)) を構築した。それでもやはり、これらの欠陥補正プロセスをさらに改善する余地がある。

【0010】

したがって、本発明の目的の1つは、フォトリソグラフィマスクの欠陥を補正する上述の方法を改善するための方法および装置を提供することである。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0011】

【特許文献1】国際公開第2013/123973号

【発明の概要】

【0012】

本発明の一態様によれば、特許請求項1に記載の方法が提供される。一実施形態では、フォトリソグラフィマスクの基板に導入される1つまたは複数のピクセルの効果を決定するための方法であって、フォトリソグラフィマスクが1つまたは複数のパターン要素を有し、1つまたは複数のピクセルが、フォトリソグラフィマスクの1つまたは複数の誤差を少なくとも部分的に補正するように機能し、方法は、1つまたは複数のパターン要素を有するフォトリソグラフィマスクの基板の複屈折の変化を決定することによって、1つまたは複数の導入されるピクセルの効果を決定するステップを含む。

30

【0013】

フォトリソグラフィマスクの様々なタイプの誤差または欠陥を補正するためにフォトリソグラフィマスクの基板に導入されるピクセルは、マスク基板の光透過率を局所的に変化させる可能性がある。以下に、マスクのレジストレーション誤差を補正する例に関して、本発明の方法の利点を説明する。しかし、本発明の方法は、フォトリソグラフィマスクのレジストレーション誤差の補正に限定されない。

40

【0014】

たとえばレジストレーション誤差を補正するためにマスク基板に導入されるまたは書き込まれるピクセルは、マスク基板を透過する光放射の小さい散乱中心を生成する。たとえば、基板内にピクセルを有する修復されたマスクがフォトリソグラフィ照射システム内で動作すると、1つまたは複数のレジストレーション欠陥を補正するピクセルが、マスクの光透過率に局所的な不均一性を導入する場合がある。したがって、レジストレーション誤差を補正するピクセルを導入すると、フォトマスク全体の限界寸法 (CD: critical dimension) の変動、またはフォトリソグラフィマスクの限界寸法均一性 (CDU) の問題が生じる。

50

【 0 0 1 5 】

レジストレーション誤差を補正するときのCDUの問題を回避するために、レジストレーション誤差を補正する第1のタイプのピクセルの決定と同時に、第2タイプのピクセルの分布が同時に決定され得る。第2のタイプのピクセルは、主に、規定の方法でピクセルに影響を与える光放射を局所的に散乱させる。第2のタイプのピクセルは、本質的に基板の密度を局所的に変化させない。典型的には、第2のタイプのピクセルは、たとえばフォトリソグラフィマスクのレジストレーション誤差を補正する第1のタイプのピクセルと共にマスク基板に導入される。

【 0 0 1 6 】

典型的には、第1のタイプのピクセルと第2のタイプのピクセルはどちらも、補正されるべきフォトリソグラフィマスクの基板内に均一に分布していない。1つまたは複数のピクセルの補正効果は、ピクセル書込みプロセスの詳細に依存する。したがって、ピクセルを導入するレーザシステムのレーザビームパラメータは、正確に制御されなければならない。さらに、リソグラフィプロセスで補正されたマスクを使用してマスクのパターン要素をウェーハ上に配置されたフォトレジスト上に投影するスキャナまたはステップパによって補正され得る許容光透過率変動 (allowed optical transmission variation) の最大値が存在する。その結果、ピクセル書込みプロセスは、マスクの位置で許容光透過率変動を上回らないことを保証するように較正する必要がある。

【 0 0 1 7 】

現在、化学線波長 (actinic wavelength) でのフォトリソグラフィの光透過率変動は、ピクセル書込みプロセスを較正するため、また、フォトリソグラフィマスクの基板に1つまたは複数のピクセルを導入することによる誤差補正プロセスによって生じる許容光透過率変動の最大量を決定するために使用される。

【 0 0 1 8 】

この手法には2つの欠点がある。(a) 1つまたは複数のピクセルの基板への導入によって生じるマスク基板の変化に関連する主要なパラメータは、光透過率ではなく、誤差補正ピクセルによって生成される応力 (stress: ストレス) である。これは、現在の較正プロセスが、1つまたは複数のピクセルの効果を説明するために、また最大の許容光透過率変動を決定するために間接量を使用することを意味する。(b) さらに重要なことに、将来のEUVマスクは、反射型光学素子となる。フォトリソグラフィマスクの基板にピクセルを導入することに基づく誤差補正プロセスを較正するための透過に、もはや化学線波長を用いることができない。したがって、現在確立されている較正プロセスをEUVマスクにも使用する場合、コーティングされていないEUVマスク基板上で光透過率の較正を行われなければならないので、欠陥補正のワークフローが変更されることになる。

【 0 0 1 9 】

本発明の方法は、マスクの欠陥を補正する1つまたは複数のピクセルの書込みに起因するマスク基板の応力によって生じる複屈折の変化を考慮する。誤差補正ピクセルの主な効果、すなわち欠陥補正プロセスを較正するための応力複屈折を使用することにより、現在の較正プロセスの両方の欠点を回避することができる。

【 0 0 2 0 】

複屈折の変化を決定することは、1つまたは複数のピクセルを基板に導入する前と、1つまたは複数のピクセルを基板に導入した後に、基板の複屈折を測定することを含み得る。

【 0 0 2 1 】

典型的には、フォトマスクの基板には、たとえば、石英基板またはLTE (Low Temperature Expansion: 低温膨張) 材料のような光学等方性材料が使用される。これらの材料の場合、誘起される複屈折は応力光学係数K (単位: $[mm^2/N]$) に正比例する。これは、測定位置で試料を透過する、応力の主軸に平行および垂直に配向された2つの入射プレーン波間の光路長の差またはリターデーション (retardation)

rdation : 遅延) として測定され得る。

【0022】

1つまたは複数の誤差は、レジストレーション誤差、基板全体にわたる光透過率の変動、オーバーレイ欠陥、およびフォトリソグラフィマスクの基板の屈曲のうちの少なくとも1つを含み得る。

【0023】

補正可能な欠陥のこの一覧は、すべてではない。たとえば、フォトリソグラフィマスクの基板にピクセルを導入することによって、フォトリソグラフィマスクの偏光欠陥も補正され得る。

【0024】

本出願において、「フォトリソグラフィマスク」という用語には、ナノインプリント (nanoinprint) 技術用のテンプレートも含まれる。

【0025】

1つまたは複数の導入されるピクセルは、フォトリソグラフィマスクの1つまたは複数のパターン要素によって変更された光放射の偏光に影響を及ぼさない場合がある。これはEUVマスクの場合には正しい。その理由は、EUV光子は、ピクセルが配置されている層を通過しないからである。

【0026】

1つまたは複数の導入されるピクセルの効果を決定するステップは、フォトリソグラフィマスクの基板に1つまたは複数のピクセルを導入するために使用されるレーザシステムの少なくとも1つのレーザビームパラメータの関数として、複屈折の変化を決定することを含み得る。

【0027】

本発明の方法は、フォトリソグラフィマスクの1つまたは複数の誤差を補正するために、フォトリソグラフィマスクの基板に1つまたは複数のピクセルを書き込むときに、複屈折の決定された変化に基づいてレーザシステムの少なくとも1つのレーザビームパラメータを制御するステップをさらに含み得る。

【0028】

1つまたは複数のレーザビームパラメータに応じて1つまたは複数のピクセルを基板に導入する応力によって生じる複屈折の変化または変動を決定することによって、ピクセル書き込みプロセスを制御するために使用できる較正曲線の決定が可能になる。

【0029】

複屈折の変動を決定することは、フォトリソグラフィマスクの化学線波長よりも大きい波長を使用した透過型光学複屈折測定システムを使用することを含み得る。さらに、複屈折の変動を決定することは、フォトリソグラフィマスクの化学線波長よりも大きい波長を使用した反射型光学複屈折測定システムを使用することを含み得る。

【0030】

応力複屈折を量として使用して、誤差補正ピクセルをマスク基板に書き込むことにより誘起される応力を決定することによって、ピクセル効果の決定を化学線波長から分離することが可能になる。したがって、応力複屈折を測定するための波長は、化学線波長とは独立して選択され得る。むしろ、応力複屈折を測定するための波長を、マスク基板の光学特性に適合させることができ、それにより、応力複屈折を高精度で決定することができる。

【0031】

透過型光学複屈折測定システムの波長は、可視波長域内とすることができる。

【0032】

EUVマスクの基板は、EUV光子を透過しないが、典型的には可視波長域で少なくとも部分的に透過する。したがって、本発明の方法を使用して、化学線波長に関係なく従来の透過型フォトリソグラフィマスクについて、また同様に特定の化学線波長に依存せずに将来のEUVマスクについて、1つまたは複数のピクセルを書き込むことによる欠陥補正プロセスによって生じる応力複屈折を直接決定することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 3 】

少なくとも1つのレーザービームパラメータは、レーザービームのパワー（power：強さ）、レーザービームのパルス長、パルス密度、焦点幅、焦点深度、波長、波面、および偏光のうちの少なくとも1つを含み得る。

【 0 0 3 4 】

波面は、フォトリソグラフィマスクの基板に1つまたは複数のピクセルを生成する電磁放射の波面の形状を表す。

【 0 0 3 5 】

規定される方法は、複屈折の変化と、フォトリソグラフィマスクの基板に導入される1つまたは複数のピクセルの応力モデルとを関連付けるステップをさらに含み得る。

10

【 0 0 3 6 】

上記で規定される方法は、基板の光透過率変動を、少なくとも1つのレーザービームパラメータの関数として決定することを含む。

【 0 0 3 7 】

このステップにより、従来の較正プロセスを、本出願で説明されている新しい較正プロセスに結び付けることが可能になる。このステップは、応力複屈折と光透過率の変動とを関連付けるためにも必要である。

【 0 0 3 8 】

レーザービームのパルス長、パルス密度、焦点幅、焦点深度、波面、および偏光は固定されてもよく、レーザービームのパワーは、パラメータとして変更されてもよい。

20

【 0 0 3 9 】

規定される方法は、複屈折の変化と、基板に導入される1つまたは複数のピクセルによって生じる光透過率変動とを関連付けるステップをさらに含み得、少なくとも1つのレーザービームパラメータがパラメータである。

【 0 0 4 0 】

フォトリソグラフィマスクの各タイプの基板について、応力複屈折と誘起される光透過率変動との間の関係を確立することが可能である。これは、ピクセル書込みプロセス中に基板に導入される応力の量に対して、マスク基板の光透過率変動を推定できることを意味する。

【 0 0 4 1 】

少なくとも1つのレーザービームパラメータを制御するステップは、1つまたは複数のピクセルを基板に導入することが、フォトリソグラフィマスクの基板の光透過率の変動の所定の閾値を局所的に超えないように、少なくとも1つのレーザービームパラメータの数値を制限することを含み得る。

30

【 0 0 4 2 】

少なくとも1つのレーザービームパラメータをパラメータとして用いた光透過率変動の関数として応力複屈折が決定される較正プロセスに基づくことで、第2の誤差補正プロセスで基板にさらなるピクセルを書き込むことによって補正できない1つまたは複数の新しい誤差を導入することなく、マスク基板にピクセルを書き込むことによる誤差補正プロセスがフォトリソグラフィマスクの欠陥を効果的に補正することが保証され得る。

40

【 0 0 4 3 】

規定される方法は、1つまたは複数のピクセルを基板に導入するためにレーザーシステムによって使用される波長での基板の光透過率変動を決定するステップをさらに含み得る。基板は、極紫外線（EUV）波長域のフォトリソグラフィマスク用の基板を含み得る。

【 0 0 4 4 】

すでに上述したように、1つまたは複数のピクセルを基板に導入することによってマスク基板に導入される応力は、少なくとも1つのレーザービームパラメータに依存する。他の上述のレーザービームパラメータが固定される場合、少なくとも1つのレーザービームパラメータは、レーザービームのパワーとすることができ、基板、具体的にはEUVマスクの基板は、少なくとも1つのレーザービームパラメータを決定するときに、ピクセルを生成する

50

レーザシステムが動作する波長において無視できない光吸収を有し得る。具体的には、フォトリソマスクの光吸収はパッチごとに異なる場合がある。この効果が考慮されない場合、少なくとも1つの実際のレーザビームパラメータは、ピクセルが生成される位置において、決定されたレーザビームパラメータから逸脱する可能性がある。したがって、誤差補正プロセスは最適ではなく、完全に失敗する可能性さえある。

【0045】

基板の光透過率変動を決定するステップは、光透過率の変動を、フォトリソグラフィマスクの基板の横方向位置の関数として決定することを含み得る。

【0046】

典型的には、光透過率はEUVマスク基板全体にわたって異なる場合がある。したがって、ピクセル書込みによる正確な欠陥補正のためには、ピクセル書込み波長での基板の光減衰の変動を考慮する必要がある。

10

【0047】

マスクの横方向位置は、フォトリソグラフィマスクの平面内の位置(x方向およびy方向)である。z方向はマスク平面に対して垂直である。

【0048】

規定される方法は、光透過率変動を、1つまたは複数のピクセルが基板に導入される基板の深度および横方向位置の関数として決定するステップをさらに含み得る。

【0049】

フォトリソグラフィマスクの補正されるべき誤差のタイプに応じて、1つまたは複数のピクセルが、マスク基板の様々な深度に導入され得る。したがって、基板内のレーザビームの減衰は、補正されるべき誤差のタイプに依存する可能性がある。欠陥補正プロセスを最適化するために、パラメータが導入される深度を考慮することが好ましい。

20

【0050】

基板は、基板の後面上にコーティングを有してもよく、少なくとも1つのレーザビームパラメータを決定するとき、コーティングは、導電性であり、1つまたは複数のピクセルが基板に導入される波長で少なくとも部分的に光透過性である。

【0051】

EUVマスクの基板は、後面にコーティングが施されている場合がある。EUVマスクが電子チャック(electronic chuck)に固定され得るように、コーティングは典型的には導電性である。EUVマスクの欠陥を補正するために、ピクセルは、典型的にはマスク基板の後側を介して導入される。典型的には、マスク基板の前側には、EUV放射の反射要素として機能する多層構造が配置される。したがって、通常は、ピクセルをマスク基板に導入するために、EUVマスクの前側にアクセスすることはできない。したがって、導電性の後側コーティングは、ピクセルがEUVマスクの基板に導入される波長で少なくとも部分的に光学的に透明である必要がある。

30

【0052】

コーティングは、インジウムスズ酸化物(ITO: indium tin oxide)、フッ素スズ酸化物(FTO: fluorine tin oxide)、およびアンチモンズ酸化物(ATO: antimony tin oxide)のうちの少なくとも1つの材料を含み得る。コーティングの厚さは、1nm~200nm、好ましくは2nm~100nm、より好ましくは3nm~50nm、最も好ましくは4nm~30nmの範囲を含み得る。代替として、導電性コーティングは、2つの層を含み得る。第1の層は、厚さ2nm~50nm、好ましくは4nm~30nm、より好ましくは6nm~20nm、最も好ましくは8nm~12nmの窒化クロム(CrN: chromium nitride)を含み得る。第2の層は、厚さ50nm~1000nm、好ましくは100nm~800nm、好ましくは200nm~600nmの、たとえば酸窒化タンタル層のような金属酸化物層を含み得る。

40

【0053】

上記で規定される方法は、複数のピクセルを基板に導入するためにレーザシステムによ

50

って使用される波長での基板および/またはコーティングの光透過率変動を決定するステップをさらに含み得る。

【0054】

コーティングは、多くの場合、低い電気抵抗と高い光透過率との間のトレードオフに基づく。基板の後面コーティングは、コーティングの材料組成および厚さに応じて、数パーセント～数十パーセントの範囲の光吸収を有し得る。したがって、ピクセルの書込みに使用される少なくとも1つのレーザビームパラメータを決定するとき、コーティングの光減衰を考慮することは非常に有益である。

【0055】

基板および/またはコーティングの光透過率変動を決定することは、光透過率の変動を、フォトリソグラフィマスクの基板の横方向位置の関数として決定することを含み得る。基板と同様に、コーティングの光透過率も、マスク基板全体にわたって上下する可能性がある。これは、コーティングの深度の位置の変動、および/または材料組成の局所的な変動、および/またはコーティングのドーピングの局所的な変動に起因して発生する可能性がある。

10

【0056】

基板の光透過率変動を決定することは、基板の光反射を決定すること、および基板の光透過率を決定することを含み得る。さらに、基板およびコーティングの光透過率変動を決定することは、基板およびコーティングの光反射を決定すること、ならびにコーティングおよび基板の光透過率を決定することを含み得る。反射、吸収、および透過の3つの量は、誘電体材料を実質的に特徴付ける。これらの量のうち2つを測定することによって、第3の量を推定することができる。

20

【0057】

上で定義された方法は、基板および/またはコーティングの光透過率変動を、1つまたは複数のピクセルが基板に導入される基板の深度および横方向位置の関数として決定するステップをさらに含み得る。

【0058】

ピクセル書込みプロセスを、一方ではマスク基板およびマスクコーティングの光学特性に、他方ではピクセルが導入される深度に適応させることによって、誤差補正プロセスを最適化することができる。

30

【0059】

1つまたは複数のピクセルは、1つまたは複数の誤差を補正するための第1のタイプのピクセルを有する第1の書込みマップを含み得、第1の書込みマップは、フォトリソグラフィマスクの基板に導入される1つまたは複数のピクセルの分布を記述している。

【0060】

規定される方法は、決定された複屈折の変化、ならびに/または1つまたは複数のピクセルが基板に導入される波長での基板および/もしくはコーティングの決定された光透過率変動に基づいて、基板の光透過率変動を補正するための第2のタイプのピクセルを有する第2の書込みマップを決定するステップをさらに含み得る。

【0061】

コンピュータプログラムは、コンピュータシステムに本発明の方法および上記の態様のいずれかのステップを実行させるための命令を含み得る。

40

【0062】

本発明の別の態様によれば、特許請求項16に記載の装置が提供される。一実施形態では、フォトリソグラフィマスクの基板に導入される1つまたは複数のピクセルの効果を決定するための装置であって、フォトリソグラフィマスクが1つまたは複数のパターン要素を有し、1つまたは複数のピクセルが、フォトリソグラフィマスクの1つまたは複数の誤差を少なくとも部分的に補正するように機能し、装置は、1つまたは複数のパターン要素を有するフォトリソグラフィマスクの基板の複屈折の変化を決定することによって、1つまたは複数の導入されるピクセルの効果を決定するための手段を備える。

50

【0063】

複屈折の変化を決定するための手段は、偏光計、楕円偏光計、および複屈折結像システムのうちの少なくとも1つを含み得る。

【0064】

1つまたは複数の導入されるピクセルの効果を決定するための手段は、フォトリソグラフィマスクの表面上の応力分布を決定するための手段を含み得る。応力分布を決定するための手段は、表面プラズモン共鳴を決定するための装置を備え得る。内部応力に対するフォトリソマスクの反応を正確にモデル化する場合、マスクの両側の表面応力に関する情報を使用してピクセル効果を決定することが可能である。

【0065】

マスク表面の応力分布を直接決定することは、マスク基板に書き込まれたピクセルの効果を決定することの代替案である。

【0066】

本発明の装置は、基板および/または基板上に配置されたコーティングの光反射および/または光透過率を決定するように適合された光学測定システムをさらに備え得る。

【0067】

装置は、1つまたは複数の誤差を補正するために使用されるピクセル書込みシステムをさらに備え得る。

【0068】

複屈折の変化を測定する手段、光学測定システム、および1つまたは複数の誤差を補正するために使用されるレーザシステムは、単一の装置に組み合わされ得る。

【0069】

最後に、装置は、本発明の方法のステップおよび上記の態様のいずれかのステップを実行するように適合され得る。

【0070】

本発明をよりよく理解し、その実際の適用を理解するために、以下の図を提供し、以下で参照する。図は例としてのみ与えられており、本発明の範囲を決して限定するものではないことに留意されたい。

【図面の簡単な説明】

【0071】

【図1】透過型フォトリソグラフィマスクの概略断面図である。

【図2】ナノインプリントリソグラフィで使用されるテンプレートの概略断面図である。

【図3】反射型極紫外線(EUV)マスクの概略断面図である。

【図4】応力複屈折を決定するために使用され得る装置のいくつかの構成要素の概略ブロック図である。

【図5】試料の光反射および光透過を測定することを可能にする光学測定システムのいくつかの構成要素を示す図である。

【図6】上方の画像は、基板全体にわたるEUVマスクのマスク基板の透過率の変動を示す図であり、下方の画像は、反射型マスクの基板の後側でのコーティングの反射の変動を示す図であり、どちらの画像も、図5の光学測定システムによって決定される。

【図7】ピクセル書込みシステムのいくつかの構成要素の概略断面図である。

【図8】図4の装置、図5の光学測定システム、および図7のピクセル書込みシステムを組み合わせた装置の概略断面図である。

【図9】フォトリソグラフィマスクの基板へのピクセルの導入によって生じる化学線波長での光透過率変動を、基板にピクセルを書き込むために使用されるレーザシステムのレーザパワーの関数として示す図である。

【図10】フォトリソグラフィマスクの基板へのピクセルの導入によって生じる化学線波長での光透過率変動および応力複屈折を、基板にピクセルを書き込むために使用されるレーザシステムのレーザパワーの関数として示す図である。

【図11】マスク基板へのピクセルの導入に使用される様々なレーザパワーについての光

10

20

30

40

50

透過率変動（横座標（*abscissa*））にわたる応力複屈折（縦座標（*ordinate*））を表す図である。

【図12】本出願の本発明の方法の流れ図である。

【発明を実施するための形態】

【0072】

以下では、本発明の例示的な実施形態が示されている添付の図を参照して、本発明を以下により詳細に説明する。しかし、本発明は、異なる形態で具現化されることができ、本明細書に記載の実施形態に限定されるものと解釈されるべきではない。むしろ、これらの実施形態は、本開示を徹底的なものにして、本発明の範囲を当業者に伝えるために提供されるものである。

10

【0073】

特に、本発明の方法、フォトリソグラフィマスクの文脈で説明されている。しかし、当業者であれば、定義された方法が、欠陥のあるフォトリソグラフィマスクを補正する用途に限定されないことを理解するであろう。本発明の方法は、ナノインプリントリソグラフィで使用されることになる欠陥のあるテンプレート200を補正するためにも使用される。一般に、本発明の方法は、1つまたは複数の応力を引き起こすピクセルの導入によって補正することができるすべての透過型光学素子に適用することができる。これは、光透過率の均一性が重要なパラメータではない光学素子に対して有益に使用される。

【0074】

図1は、透過型フォトリソグラフィマスク100の概略断面図である。マスク100は、第1の面すなわち前面150および第2の面すなわち後面160を有する基板110を備える。基板110は、ウェーハ上のフォトレジストの照射に使用される波長に対して透明でなければならない。この波長は、化学線波長と呼ばれる。露光波長180は、電磁スペクトルの深紫外線（DUV: deep ultraviolet）スペクトル域内、具体的には、約193nmとすることができる。典型的には、基板材料は石英を含む。基板110は、典型的には、横方向の寸法が152mm×152mmであり、深度または高さが本質的に6.35mmである。フォトリソグラフィマスク100の基板110は、その前面150に、ウェーハ上に配置されたフォトレジストのレイアウトデータによって事前に決定されたパターン要素120を結像する（*image*）、多くの場合はクロムから製造されたパターン130のパターン要素120を有する。

20

30

【0075】

図1に示す例では、マスク100は、レジストレーション誤差の形態の誤差190を有する、すなわち、2つ以上のパターン要素120の距離が、レイアウトデータによって事前に決定された位置からずれている。誤差190は、マスク基板110の平面性誤差、オーバーレイ誤差、またはマスク基板110全体にわたる光透過率の不均一性であり得る可能性もある（図1には図示せず）。

【0076】

フォトリソグラフィマスク100の基板110の、パターン要素120を保持する部分は、マスク100の活性エリア170と呼ばれ、一方、パターン要素120を有さない境界部分は、非活性エリア175と呼ばれる。化学線の露光または照射の波長を有するレーザービームが、基板110の第2の面すなわち後面160を通してマスク100の基板110を照射する。

40

【0077】

「本質的に」という用語は、本出願の文脈において、先行技術の計測ツールを使用して変量を測定するときの、許容誤差内での測定変量の指定を意味する。

【0078】

図2は、ウェーハ上にパターン要素を転写するためにナノインプリントリソグラフィで使用されるテンプレート200を概略的に示す。テンプレート200は、UVおよびDUVスペクトル域で透明である材料210を含み、多くの場合、溶融シリカがテンプレート材料として使用される。図2の例示的なテンプレート200は、誤差290を有する。テ

50

ンプレート前側 220 のパターン要素は、図 1 のフォトリソグラフィマスク 100 のパターン要素 120 の製造と非常に類似したプロセスで製造される。したがって、本発明の原理は、ナノインプリントリソグラフィで使用されるテンプレート 200 の様々な種類の誤差を補正するために適用することもできる。テンプレート 200 は、テンプレート後面 230 を介して電磁放射 280 によって照射される。

【0079】

図 3 は、13.5 nm の露光波長に対するフォトリソグラフィマスク 300 の概略断面図である。図 1 のフォトリソグラフィマスクとは異なり、EUV マスク 300 は、多層構造 305 に基づく反射光学要素である。多層構造 305 は、入射 EUV 光子 350 を選択的に反射するミラーとして機能する。EUV マスク 300 の多層構造 305 は、溶融シリカ基板などの適切な基板 310 の基板前面 315 上に堆積される。たとえば、ZERODUR (登録商標)、ULE (登録商標) または CLEAR CERAM (登録商標) のような、他の透明な誘電体、ガラス材料、または半導体材料も、フォトリソグラフィマスクの基板として適用され得る。基板 310 の材料は極低熱膨張 (LTE) 係数を有することが有利である。

10

【0080】

多層膜または多層構造 305 は、モリブデン (Mo) 層 320 とシリコン (Si) 層 325 との 20 ~ 60 対の交互層を含む。各 Mo 層 320 の厚さは 4.15 nm であり、Si 層 325 の厚さは 2.80 nm になる。多層構造 305 を保護するために、深度 7 nm の自然酸化物を有するシリコンのキャッピング層 330 が、多層構造 305 の上部に配置される。キャッピング層 330 を形成するために、たとえばルテニウムのような他の材料を使用することもできる。

20

【0081】

多層 305 において、Mo 層 320 は散乱層として機能するのに対して、シリコン層 325 は分離層として機能する。Mo の代わりに、コバルト (Co)、ニッケル (Ni)、タングステン (W)、レニウム (Re)、およびイリジウム (Ir) などの Z 数が大きい他の元素が散乱層に利用されてもよい。

【0082】

すでに述べたように、EUV マスク 300 の基板 310 上の多層構造 305 は、EUV 電磁放射用のミラーとして機能する。EUV マスク 300 になるために、バッファ構造 335 および吸収パターン構造 340 が、キャッピング層 330 上にさらに堆積される。バッファ層 335 は、処理中、たとえば、吸収パターン構造 340 のエッチングおよび/または修復中に多層構造 305 を保護するために堆積され得る。可能なバッファ構造材料は、たとえば、溶融シリカ (SiO₂)、窒素化シリコン (SiON)、ルテニウム (Ru)、クロム (Cr)、および/または窒化クロム (CrN) である。吸収構造 340 は、EUV 波長域の光子に対して高い吸収率を有する材料を含む。これらの材料の例は、クロム (Cr)、窒化チタン (TiN)、および/または窒化タンタル (Ta₂N₅) である。

30

【0083】

光子が吸収体パターン 340 の表面によって反射されないことを確実にするために、吸収パターン構造 340 上に、反射防止 (AR: anti-reflective) 層 345 がさらに配置され得る。AR 層を製造するために、窒素化タンタル (Ta₂ON₅) が使用されてもよい。吸収構造 340 に入射するすべての EUV 光子 350 を本質的に吸収するには、約 50 nm の厚さが十分である。対照的に、キャッピング層 330 に入射する光子 350 の大部分は、光子 355 として反射される。

40

【0084】

図 3 の例では、パターン要素 360 は、レジストレーション誤差の形態の誤差 390 を有する。パターン要素 360 の点線 395 で示す部分は、吸収材料がない状態であるべきである。

【0085】

透過型フォトマスク 110 と同様に、EUV マスク 300 の基板 310 は、通常、横方

50

向の寸法が152mm×152mmであり、厚さまたは高さが本質的に6.35mmである。基板310の後面370、すなわち基板後面370は、薄いコーティング375を有する。EUVマスク300が静電力によって固定され得るように、すなわち、EUVマスク300がリソグラフィ照射システムの試料ステージ上に電子的にチャックされ(chucked: 押さえられ)得るように、コーティング375は導電性であるべきである。さらに、コーティングは、レーザシステムが基板310にピクセルを導入するために使用する波長の周りでは、少なくとも部分的に光学的に透明でなければならない。両方の要件を満たす材料は、たとえば、インジウムスズ酸化物(ITO)、フッ素スズ酸化物(FTO)、および/またはアンチモンズ酸化物(ATO)である。コーティング375の厚さは、10nm~50nmとすることができる。代替として、コーティングは、厚さ10nm~20nmの窒化クロム(CrN)層を含み得る。さらに、代替コーティングが、CrN層および最大600nmの範囲の厚さの金属酸化物層を含むことも可能である。

10

【0086】

さらなる代替では、コーティング375に極薄金属層が使用されてもよい。たとえば、コーティング375は、ニッケル(Ni)、クロム(Cr)、アルミニウム(Al)、金(Au)、銀(Ag)、銅(Cu)、チタン(Ti)、ウォルフラム(W)、インジウム(In)、プラチナ(Pt)、モリブデン(Mo)、ロジウム(Rh)、および/もしくは亜鉛(Zn)、ならびに/またはこれらの金属の少なくとも2つの混合物の群のうちの少なくとも1つの金属を含み得る。金属層の厚さは、典型的には30nm未満である。

20

【0087】

図4は、フォトリソグラフィマスク100、300の基板110、310にピクセルを導入することによって誘起される応力複屈折を決定するために使用することができる装置400の断面を示す。装置400は、レーザ光源420であり得る光源420を備える。光源は、電磁スペクトルの可視域の光を放出することができる。たとえば、図4では、光源としてHeNe(ヘリウムネオン)レーザが使用されている。光源420によって生成された光ビーム430は、光弾性変調器(PEM: photo-elastic modulator)440を通過する。PEM440は、その入口にある偏光子(図4には図示せず)と、典型的には、多くの場合は石英ガラス板である光学媒体を定期的に圧縮および拡張する、圧電変換器とを備える。通常、変調周波数は50kHzである。したがって、光弾性変調器440は、偏光子を離れる光ビームの偏光を変調する。

30

【0088】

変調された光ビーム450は、試料410を透過する。試料410は、フォトリソグラフィマスク100、300のマスク基板110、310とすることができ、またはナノインプリントリソグラフィに適用されるテンプレート200とすることができる。図1および図3の文脈で説明したように、フォトリソグラフィマスクの基板は、典型的には光学等方性材料である。しかし、マスク製造プロセスによって、すなわち、透過型マスク100の場合はパターン130の製造によって、または反射型マスク300の場合は前側315のパターン要素360および/もしくは後面370のコーティング375の製造によって、マスク基板110、310に応力が誘起され得る。したがって、フォトリソグラフィマスク100、300が基板110、310に基づいて製造された後、欠陥のない基板110、310は、誘起応力を有し得る。結果として、フォトリソグラフィマスク100、300は、応力複屈折を示し得る。この応力複屈折の寄与を排除するために、応力複屈折の測定は差分測定であり、すなわち、ピクセルをマスク基板110、310に導入する前後に、応力複屈折が測定される。

40

【0089】

さらに、たとえば、フォトリソグラフィマスク100、300の不適切な固定によって、そのマスク100、300に一時的に応力が印加される可能性がある。本出願では、フォトマスク100、300の不適切な取り扱いによって生じるこの一時的な応力は考慮されない。

【0090】

50

マスク100、300の基板100、310へのピクセルの導入は、規定の方法でマスク基板100、300に局所的な永久応力を誘起する。誘起応力は、マスク基板100、300の材料に誘起された応力に線形に依存する、不透過性の変化 β_{ij} を引き起こすかまたは誘起することが知られており、不透過性と誘電率は、

【数1】

$$\varepsilon = \frac{1}{\beta}.$$

10

(1)

によって関連付けられる。この依存性は、応力光学行列の成分、すなわち

【数2】

$$\Delta\beta_{ij} = \sum_{k=1, l=1}^{3,3} q_{ijkl} \sigma_{kl},$$

20

(2)

を用いて表すことができ、式中、 q は応力光学係数行列、 σ は応力テンソルである。したがって、ピクセルを基板110、310に導入するまたは書き込むことによってマスク基板110、310の材料に誘起される応力は、基板110、310の材料における光ビームのリターデーションに直接関連付けられ、式

【数3】

$$\Delta = d \cdot n_0^3 \cdot \sqrt{\left(\frac{\beta_{11} - \beta_{22}}{2}\right)^2 + \beta_{12}^2}$$

30

(3)

40

によって与えられ、式中、 d はマスク基板110、310の厚さであり、 n_0 は基板110、310の等方性材料の屈折率であり、 β_{ij} はフォトマスク100、300の基板材料の不透過性行列の成分である。式3は、フォトリソグラフィマスク100、300の平面での2次元変形モデルにおけるリターデーションを説明している。

【0091】

マスク基板110、310へのピクセルの導入に起因する応力複屈折によって生じるリターデーションは、測定可能な量に単純な方法で正確に結び付けられる。材料複屈折を有するフォトリソグラフィマスク100、300のリターデーションは、式

【数 4】

$$\Delta = d \cdot (n_S - n_F) = d \cdot \Delta n = d \cdot \delta$$

(4)

に従って、マスク 100、300の基板 110、310の厚さ d 、および基板 110、310のその速軸 n_F と遅軸 n_S の屈折率によって求められ、 Δ は複屈折と呼ばれる。リターデーションの寸法はメートルであり、典型的には、ナノメートルで示される。

【0092】

マスク基板 110、310の材料複屈折によって生じるリターデーションは、入射レーザービーム 450の偏光に対する、試料 410を離れるレーザービーム 460の偏光の変化をもたらす。

【0093】

試料 410を離れる光ビーム 460は、検出システム 470に入る。検出システム 470は、変調された光ビーム 460を本質的に同じ光学強度を有する2つのビームに分離するビーム分割ミラーを含み得る。各部分ビームは、分析器とフィルタを組み合わせたものを通過し、次いで、光検出器によって検出される。検出システム 470内の構成要素は、図 4には図示せず。

【0094】

装置 400の横方向分解能は、試料 410内の変調されたレーザービーム 450の焦点幅によって決定される。現在、応力複屈折を決定するための横方向分解能は $4 \mu\text{m}$ の範囲内である。

【0095】

計算ユニット(図 4には図示せず)は、2つの光検出器の測定信号を、試料 410の複屈折を求めることができるパラメータに変換することができる。装置 400または計算ユニットは、リターデーションおよび速軸角度を出力信号として提供する。典型的には、装置 400の分解能限界は、数ピコメートルの範囲内である。1 μm までの分解能が可能であり、典型的には、繰返し精度は約 $\pm 10 \text{ p m}$ である。

【0096】

装置 400の光源 420、PEM 440、および検出システム 470は、インターフェース 480を有し得る。装置 400は、インターフェース 480を介して計算ユニットのデータを出力することができる。装置 400は、インターフェース 480を介して外部から制御されてもよく、その測定データをインターフェース 480によって外部のコンピュータシステムに送信することも可能である。

【0097】

図 4の装置 400は、基板 110、310を通して光を透過させることによって、フォトリソグラフィマスク 100、300の基板 110、310にピクセルを導入することによって誘起される応力複屈折を決定する。しかし、基板 110、310から反射された光のみに基づいて動作する装置(図 4には図示せず)を使用することによって、応力複屈折を決定することも可能である。したがって、装置を使用してEUVマスク 300の応力複屈折を分析することができる。

【0098】

図 5は、マスク基板 100、300、具体的にはEUVマスク 300の基板 310の光吸収を決定するために使用できる光学測定システム 500のいくつかの構成要素を概略的に示す。光学測定システム 500は、レーザーシステムであり得る光源 520を備える。光源 520の波長は、マスク基板 110、310にピクセルを導入するために使用されるレ

ーザシステムの波長に適合されてもよい。図5の例では、光源は、発光ダイオード（LED：light emitting diode）である。光源520は、ケーブル515によって、制御ユニット（図5には図示せず）に接続されている。光源520によって生成された光は、光ファイバ525を介して投影システム530に接続され、投影システム530が、光ビーム535を試料510に方向付ける。試料510は、フォトリソグラフィマスク100、300とすることができ、またはテンプレート200とすることができる。

【0099】

入射光ビーム535の典型的には小さい第1の部分は、試料510の前側で反射される。たとえば、試料510の前側575は、透過型マスク100の基板110の後側160とすることができ、またはフォトリソグラフィマスク300の基板310のコーティング375の前側の面とすることができる。光ビーム535の第2の部分は、試料510の後側580から反射される。試料510の後側580は、透過型マスク100の基板110の前側190とすることができ、またはEUVマスク300の基板310の前側315とすることができる。

10

【0100】

第1の反射部分555および第2の反射部分565は、開口550によって、たとえば、ピンホール550によって分離され得る。さらに、開口550を透過するビームは、フィルタ560によってフィルタリングされ、次いで、光検出器570によって測定される。したがって、第1の反射部分555および第2の反射部分565は、光検出器570によって順次測定され得る。また、2つの異なる光検出器570を使用して、第1の反射部分555および第2の反射部分565を同時に検出することも可能である。

20

【0101】

第2の光検出器540は、試料510の後ろに配置され、試料510を透過し、かつ試料510の後面580で反射されない入射光535の一部分545を検出する。光検出器540、570は、フォトダイオード、たとえば、PINダイオードまたはアバランシェダイオードを含むことができる。代替として、光電子増倍管を光検出器540、570として使用することができる。

【0102】

反射された放射555、565および透過された放射の検出の横方向分解能は、投影システム530ならびに光検出器540および570の開口550によって決定される、入射光ビーム535の焦点幅に依存する。光学測定システム500の横方向分解能は、 $100\ \mu\text{m} \sim 1\ \text{mm}$ の範囲内である。より小さい孔を有する開口550を使用するほど、より高い横方向分解能を得ることができるが、光検出器540、570の信号の信号対雑音比が低くなる。

30

【0103】

光検出器540および570の測定値に基づいて、試料510に入射する光ビーム535の反射部分555、565および透過部分545が決定され得る。これらの測定値に基づいて、基板110、310の吸収または減衰が算出され得る。さらに、光検出器540、570によって測定されたデータにより、EUVマスク300のコーティング層375の吸収を決定することも可能になる。さらに、光検出器540、570は、入射光ビーム535の反射部分555、565および透過部分545を、マスク基板110、310の横方向位置の関数として測定することができる。したがって、測定システム500により、基板110、310および/もしくはコーティング375の両方の吸収または減衰を高い空間分解能で決定することが可能になる。

40

【0104】

図6の上方の画像600は、フォトリソグラフィマスク300全体にわたる入射光ビーム535の透過部分545の変動を、横方向位置の関数として示す。光源520の波長は、 $532\ \text{nm}$ である。画像600から見て取れるように、フォトマスク300全体にわたる絶対透過率変動は約3%である。

50

【 0 1 0 5 】

図 6 の下方の画像 6 5 0 は、EUV マスク 3 0 0 の基板 3 0 0 のコーティング 3 7 5 全体にわたる入射光ビーム 5 3 5 の第 1 の反射部分 5 5 5 の変動を示し、やはりこの場合も入射光ビーム 5 3 5 の波長は 5 3 2 nm である。最大絶対変動は約 0.7% になる。

【 0 1 0 6 】

当業者であれば、画像 6 0 0 および 6 5 0 が、EUV マスク 3 3 0 の基板 3 1 0 全体にわたり透過された光ビーム 5 4 5 および反射された光ビーム 5 5 5 の絶対的な数値を示していることを認識するであろう。これは、図 6 に示す例では、EUV マスク 3 0 0 の基板 3 1 0 およびコーティング 3 7 5 が入射光ビーム 5 3 5 の約 20% を透過することを意味する。図 6 の例では、試料 5 1 0 の前側 5 7 5 から一次反射された光 5 5 5 は、約 29% になる。したがって、 $A = 1 - R - T$ によれば、図 6 の例では、入射光 5 3 5 の約 50% が、EUV マスク 3 0 0 の基板 3 1 0 およびコーティング 3 7 5 に吸収される。典型的な一次反射値は、30% ~ 60% の範囲内である。さらに、典型的には、入射光 5 3 5 の 15% ~ 25% が、EUV マスク 3 0 0 の基板 3 1 0 およびコーティング 3 7 5 を透過する。したがって、図 6 の例では、EUV マスクの基板 3 1 0 およびコーティング 3 7 5 の吸収は、15% ~ 55% の範囲を含む。しかし、すでに述べたように、これは一例に過ぎない。有意な吸収がないか、または図 6 の例に示すよりも、光透過率が高いもしくは低い可能性がある、もしくは数値反射率の値が高いもしくは低い可能性がある、他のコーティングおよび基板が存在する。

【 0 1 0 7 】

図 7 は、図 1 および図 3 のフォトリソグラフィマスク 1 0 0、3 0 0、ならびに図 2 のテンプレート 2 0 0 の誤差を補正するために使用することができる例示的なピクセル書込み装置 7 0 0 の概略ブロック図を示す。ピクセル書込み装置 7 0 0 は、3次元で移動可能であり得るチャック (chuck) 8 2 0 を備える。試料 7 1 0 は、たとえばクランピングのように様々な技法を使用することによってチャック 7 2 0 に固定され得る。試料 7 1 0 は、試料 7 1 0 基板後面が対物レンズ 7 4 0 の方を向くように、上下反転させてチャック 7 2 0 に取り付けられる。試料 7 1 0 は、フォトリソグラフィマスク 1 0 0、3 0 0 とすることができ、またはテンプレート 2 0 0 とすることができる。

【 0 1 0 8 】

ピクセル書込み装置 7 0 0 は、パルスまたは光パルスのビームもしくは光ビーム 7 3 5 を発生させるパルスレーザ源 7 3 0 を含む。レーザ源 7 3 0 は、可変持続時間の光パルスを生成する。パルス持続時間は、最低 10 fs (フェムト秒) とすることができるが、最高 100 ps (ピコ秒) まで連続的に増加することができる。パルスレーザ源 7 3 0 によって生成される光パルスのパルスエネルギーは、パルス当たり 0.01 μ J ~ パルス当たり最大 10 mJ に達する広い範囲にわたって調整され得る。さらに、光パルスの繰返し率は、1 Hz ~ 100 MHz の範囲を含む。たとえば、光パルスは、800 nm の波長で動作する Ti : サファイアレーザによって生成され得る。しかし、マスク基板 1 1 0、3 1 0 にピクセルを導入することによる誤差補正方法は、このレーザタイプに限定されず、主に、フォトリソグラフィマスク 1 0 0、3 0 0 またはテンプレート 2 0 0 の基板 1 1 0、3 1 0 へのバンドギャップよりも小さい光子エネルギーを有するとともに、フェムト秒範囲の持続時間でパルスを生成することができるすべてのレーザタイプを使用することができる。したがって、たとえば、Nd - YAG レーザシステムまたは色素レーザシステムが適用されてもよい (図 7 には図示せず)。

【 0 1 0 9 】

ステアリングミラー 7 9 0 は、パルスレーザビーム 7 3 5 を集束対物レンズ 7 4 0 に方向付ける。対物レンズ 7 4 0 は、パルスレーザビーム 7 3 5 を、基板後面 1 6 0、3 7 0 を通して、フォトリソグラフィマスク 1 0 0、3 0 0 の基板 1 1 0、3 1 0 に集束させる。適用される対物レンズ 7 4 0 の NA (numerical aperture : 開口数) は、焦点の所定のスポットサイズ、および基板後面 1 6 0、3 7 0 に対するフォトリソグラフィマスク 1 0 0、3 0 0 の基板 1 1 0、3 1 0 内の焦点の位置に依存する。対物レ

10

20

30

40

50

ンズ 840 の NA は、最大 0.9 とすることができ、その結果、焦点スポットの直径は本質的に $1\ \mu\text{m}$ になり、最大強度は本質的に $10^{20}\text{W}/\text{cm}^2$ になる。

【0110】

ピクセル書込み装置 700 は、試料 710 の平面における試料ホルダ 720 の 2 軸位置決めステージの並進 (x 方向および y 方向) を管理する、コントローラ 780 およびコンピュータシステム 760 も含む。コントローラ 780 およびコンピュータシステム 760 はまた、対物レンズ 740 が固定されているチャック 720 の平面に対して垂直な対物レンズ 740 の並進 (z 方向) を、1 軸位置決めステージ 750 を介して制御する。ピクセル書込み装置 700 の他の実施形態では、チャック 720 に、試料 710 を目標位置に移動させるための 3 軸位置決めシステムを設け、かつ対物レンズ 740 を固定してもよく、または、チャック 520 を固定し、かつ対物レンズ 540 を 3 次元で移動可能としてもよい。

10

【0111】

コンピュータシステム 760 は、マイクロプロセッサ、汎用プロセッサ、専用プロセッサ、CPU (central processing unit: 中央処理装置) などとすることができる。これは、コントローラ 780 内に配置され得るか、または PC (personal computer: パーソナルコンピュータ)、ワークステーション、メインフレームなどの別個のユニットとすることができる。コンピュータシステム 760 は、接続 755 を介してコンピュータシステム 760 を図 4 の装置 400 に接続するインターフェースをさらに備え得る。さらに、コンピュータシステム 760 は、接続 795 によって、図 5 の光学測定システム 500 の接続 515 ならびに光検出器 540 および 570 を介して、レーザ源 520 を制御してもよい。

20

【0112】

さらに、ピクセル書込み装置 700 は、チャック 720 に配置された照射源からダイクロミックミラー 745 を介して光を受け取る CCD (charge-coupled device: 電荷結合素子) カメラ 865 を含む、ビューイングシステムを提供することもできる。ビューイングシステムは、試料 710 の目標位置への誘導を容易にする。さらに、ビューイングシステムを使用して、光源 730 のパルスレーザビーム 735 による、試料 710 の基板後面上での変更されたエリアの形成を観察することもできる。

30

【0113】

コンピュータシステム 760 は、インターフェース 480 を介して装置 400 から取得された誤差データおよび測定データ、ならびにインターフェース 515 を用いて測定システム 500 から取得された誤差データおよび測定データからレーザビーム 735 のレーザビームパラメータを決定する処理ユニットを備え得る。装置 400 および測定システム 500 の両方の実験データを考慮することにより、誤差補正プロセスがフォトマスク 100、300 の新たな欠陥を引き起こすというリスクを伴わずに、フォトリソグラフィマスク 100、300 のより多くの誤差のうちの 1 つを効果的に補正することができる。ピクセル書込みプロセスのさらなる詳細は、米国特許第 9658527 号に記載されている。

【0114】

図 8 は、図 4 の装置 400 と、図 5 の光学測定システム 500 と、図 7 のピクセル書込み装置 700 とを単一のデバイスに組み合わせた複合装置 800 の断面を概略的に示す。制御および処理ユニット 850 は、接続 810 を介して装置 400 を制御し、接続 820 によって測定システム 500 を制御し、接続 830 によってピクセル書込み装置を制御する。さらに、制御および処理ユニット 850 は、接続 840 を介して外部のインターフェース 860 に接続されている。

40

【0115】

制御および処理ユニット 850 は、装置 400 による応力複屈折の測定を制御し、接続 810 を介して装置 400 から実験データを取得する。さらに、制御および処理ユニットは、基板 310 および / またはコーティング 375 の光反射および光透過の測定を制御し、測定データを受信する。たとえば、制御および処理ユニット 850 は、これらのデータ

50

に基づいて、マスク基板 110、310 のコーティング 375 に入射するレーザービーム 735 のパワーを、基板 310 内の深度の関数として決定することができる。ピクセルの補正効果は、ピクセルが生成される場所での局所エネルギー密度に強く依存するので、ピクセル書込み装置の誤差補正プロセスを、ピクセル書込み装置 700 によって正確に制御することができる。

【0116】

制御および処理ユニット 850 は、インターフェース 860 および接続 840 を介して、欠陥計測システムからマスク 100、300 の誤差データを受信することができる。制御および処理ユニットは、取得された誤差データ、基板 110、310 の決定された応力複屈折、および基板 110、310 の決定された反射特性および透過特性に基づいて、ピクセル書込み装置 700 のレーザービームパラメータを決定することができる。制御および処理ユニット 850 は、ハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、およびそれらの組合せで実装され得る。制御および処理ユニット 850 は、装置 400 および光学測定システム 500 から受信した測定データから、ピクセル書込み装置 700 のレーザーシステム 730 のレーザービーム 735 のパラメータを算出するアルゴリズムを含み得る。

10

【0117】

図 9 の線図 900 は、複数のピクセル配列が導入されたフォトリソグラフィマスク 100 の基板 110 の光透過率変動の測定値を示す。図 9 および次の図 10 において、複数のピクセル配列のそれぞれの中のピクセルは、一定の密度を有する。図 9 の例では、ピクセル配列の横方向の寸法は 3 mm × 3 mm であり、ピクセルのピッチは両方向に約 4 μm である。すべてのピクセル配列が、基板 110 の中心、すなわち 3.175 mm の深度で書き込まれている。ピクセル書込み装置 700 のレーザーシステム 730 の異なるパワーレベルで、様々なピクセル配列が基板 110 に導入されている。ピクセル配列をマスク基板 110 に導入するために使用されるレーザービームパラメータを、次の表に示す。

20

【0118】

【表 1】

表 1: 選択されたレーザービームパラメータの数値

| パラメータ | 数値 | 単位 |
|--------------------|------------------|------------------|
| (マスクレベルでの)パルスエネルギー | 0.05 - 0.5 | μJ |
| パルス長 | 0.5 - 50 | ps |
| パルス密度 | 10 000 - 100 000 | mm ⁻² |
| NA | 0.3 | |
| 波長 | 532 | nm |

30

40

【0119】

図 9 に示す測定点を取得するために、ピクセル配列を有する基板 110 は、DUV (深紫外線) ランプを用いて CW (Continuous Wave: 連続波) モードで照射されている。DUV の放射は、狭帯域フィルタでフィルタリングされる。代替として、図 9 の測定データは、マスク 100 の化学線波長で、すなわち 193 nm で測定することもできる。したがって、この測定に、フォトリソグラフィ照射システムの光源を使用することができる。典型的には、フォトリソグラフィ照射システムの光源は、CW モードまたは準 CW モードで基板 110 を放射する。

【0120】

50

線図 900 から分かるように、深紫外線 (D U V) 波長域での光放射の減衰は、ピクセル書込みプロセスで使用されるレーザ出力の関数としてほぼ直線的に増加する。測定点 920 に近似する曲線 910 の詳細を図 9 に示す。曲線 910 に基づいて、フォトマスク 100 の基板 110 全体にわたる光透過率または D U V 減衰の変動を補償する第 2 のタイプのピクセルを含む第 2 のピクセル配列の決定に使用され得るルックアップテーブルを確立することができる。フォトリソグラフィマスク 100 の光透過の変動を補償するための少なくとも 1 つの第 2 のタイプのピクセルを有する第 2 のタイプのピクセル配列を書き込むために、ルックアップテーブルに基づいて、レーザシステム 730 のレーザビームパラメータを固定することができる。

【0121】

図 9 に示す例では、マスク基板 110 の許容光減衰の最大値は 3 % である。基板 110 のこの量の光減衰を、スキャナまたはステッパによって補償することができ、スキャナまたはステッパは、補正されたフォトリソグラフィマスク 100 を使用して、マスク 100 のパターン 130 をウェーハ上に配置されたフォトレジスト上に投影する。したがって、許容光減衰の最大値は、たとえば、フォトリソグラフィマスク 100 の誤差 190 を補正するピクセル書込みプロセス中のレーザビーム 735 の最大パワーを固定する。一点鎖線の曲線 930 は、この関係を示している。

【0122】

図 9 は、フォトリソグラフィマスク 100 の基板 110 にピクセルを導入する欠陥補正プロセスまたは R e g C プロセスのための従来の較正プロセスを示す。すでに上述したように、この較正手順は、E U V マスク 300 には、もはや使用することができない。E U V マスク 300 の基板 310 は、化学線波長に対して透明ではない。さらに、従来の較正プロセスは、マスク基板 110 に導入されたピクセルの効果を、基板 110 の誘起された光透過率の変動から間接的に推定する。さらに、光透過率は、E U V マスク 300 についての関連パラメータではない。パラメータを一定のレベルに維持される必要はなく、自由に選択することができる。

【0123】

図 10 は、マスク基板 110 に書き込まれるピクセル配列の光透過率または光減衰の変動を、ピクセル書込みシステム 700 のレーザビーム 735 の異なるパワーレベルでさらに示す。図 10 では、ピクセル配列は、裸のマスク基板 110 に書き込まれる。測定点 1020 は、回転した四角で示されている。測定点 1020 に関しては、縦座標を線図 1000 の右側に表示している。近似曲線 1010 は、式 1050 によって与えられる。

【0124】

図 10 はまた、裸のマスク基板 110 における同じピクセル配列についての応力複屈折の測定値を示す。図 10 では、測定点 1040 は、四角で示されている。近似曲線 1030 の結果は、線図 1000 の 1060 によって与えられる。図 10 に示す応力複屈折の測定値は、差分測定値である。これは、ピクセル配列をマスク基板 110 に導入する前に、基板 110 の応力複屈折が測定されていることを意味する。したがって、ピクセル配列の導入前に基板 110 にすでに存在し得る応力複屈折の影響は、図 10 に示したデータから除外されている。

【0125】

線図 1000 は、ピクセル配列が応力複屈折を誘起することを明確に示している。さらに、図 10 は、応力複屈折が、ピクセル配列が基板 110 に導入されたレーザパワーの関数として変化することも示している。さらに、測定点 1120 および 1040、ならびに算出された曲線 1010 および 1030 は、応力複屈折の変動と D U V 波長域における光放射の減衰との間に相関関係があることを示している。

【0126】

図 11 は、基板 110 にピクセル配列を書き込むために使用される様々なレベルのレーザパワーについて、図 10 の光減衰データを横座標で表し、図 10 の応力複屈折データを縦座標で表した図である。曲線 1110 から明確に分かるように、異なるパワーレベルを

10

20

30

40

50

有するレーザービーム 835 で書き込まれたピクセル配列によって生じる光減衰と応力複屈折との間には直線関係がある。

【0127】

したがって、図 11 の線図 1100 は、応力複屈折の測定を、透過型フォトリソグラフィマスク 100 の Reg C プロセスの較正に使用できることを実証している。応力複屈折の決定は、従来の較正プロセスに加えて使用することができる。しかし、応力複屈折の決定に基づく Reg C 較正プロセスは、基板 110 に書き込まれたピクセルによって生じる光減衰の測定に基づく現在の較正手法に取って代わることもできる。

【0128】

さらに重要なことに、図 4 に示すように、装置 400 は、HeNe レーザ源を光源 420 として使用し、それにより応力複屈折が 632 nm の波長で測定されるようにする。したがって、応力複屈折の測定は、典型的には可視波長域で光学的に透明である EUV マスク 300 の基板 310 に対しても実行することができる。Reg C 較正を化学線波長から分離することによって、本出願で説明する方法を、透過型フォトリソグラフィマスク 100 と反射型フォトリソグラフィマスク 300 の両方に使用することができる。

10

【0129】

最後に、図 12 は、本発明の方法の流れ図 1200 を示す。方法は、1210 から開始する。ステップ 1220 において、1つまたは複数のパターン要素 120、360 を有するフォトリソグラフィマスク 100、300 の基板 110、310 の複屈折の変化を決定することによって、1つまたは複数の導入されたピクセルの効果が決定される。このステップは、応力複屈折測定を実行するように設計された装置 400 によって実行され得る。

20

【0130】

ステップ 1230 において、1つまたは複数の導入されたピクセルの決定された効果に基づいて、少なくとも 1 つのレーザービームパラメータが決定される。ステップ 1230 は、本発明の方法の任意選択のステップである。これは、流れ図 1200 では点線の枠で示されている。方法は、ステップ 1340 で終了する。

【 図 1 】

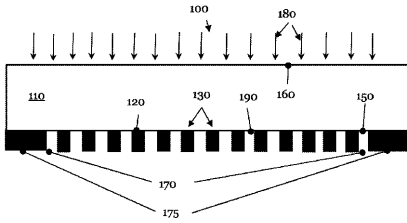


Fig. 1

【 図 2 】

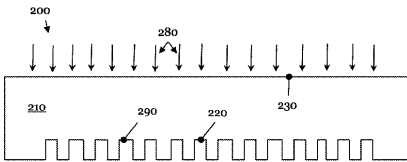


Fig. 2

【 図 3 】

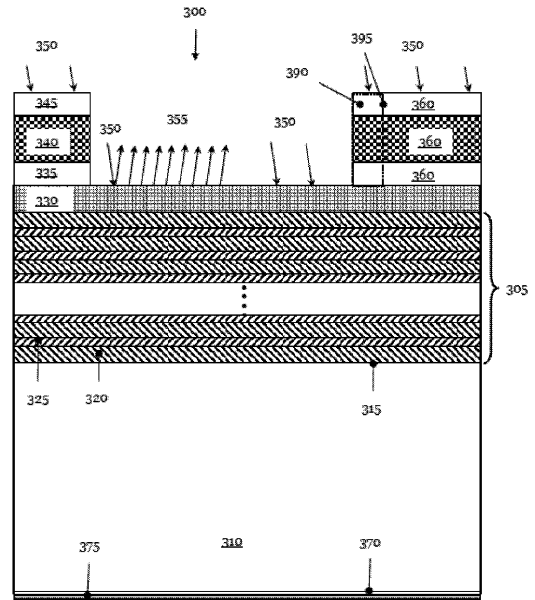


Fig. 3

【 図 4 】

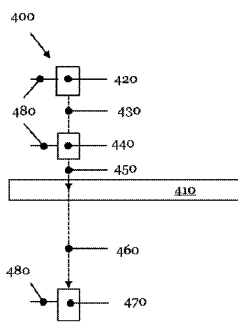


Fig. 4

【 図 5 】

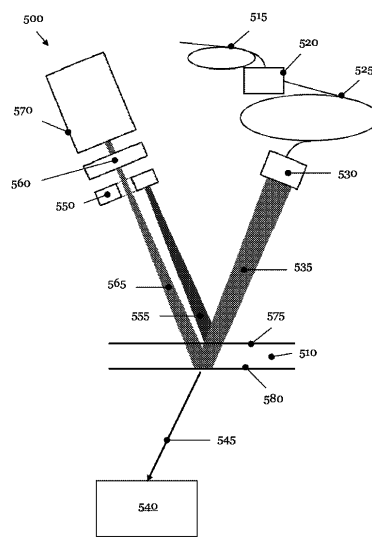


Fig. 5

【 図 6 】

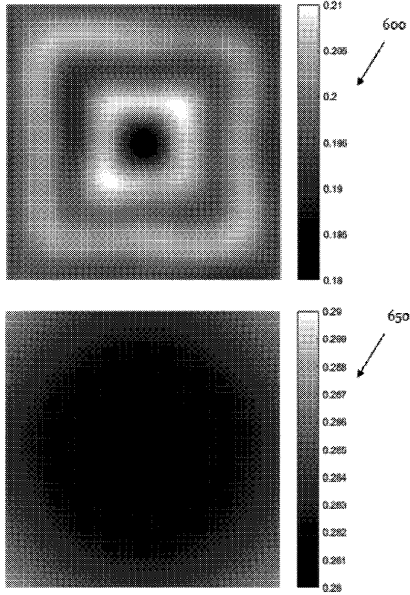


Fig. 6

【 図 7 】

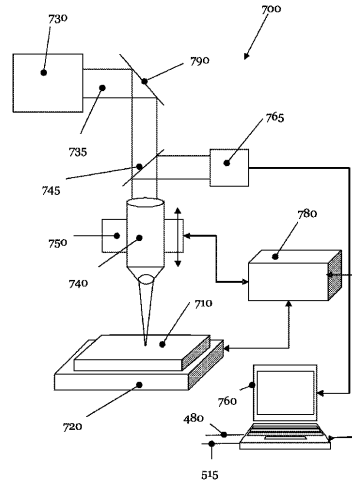


Fig. 7

【 図 8 】

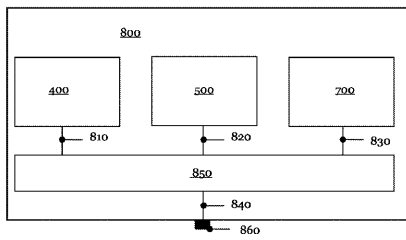


Fig. 8

【 図 9 】

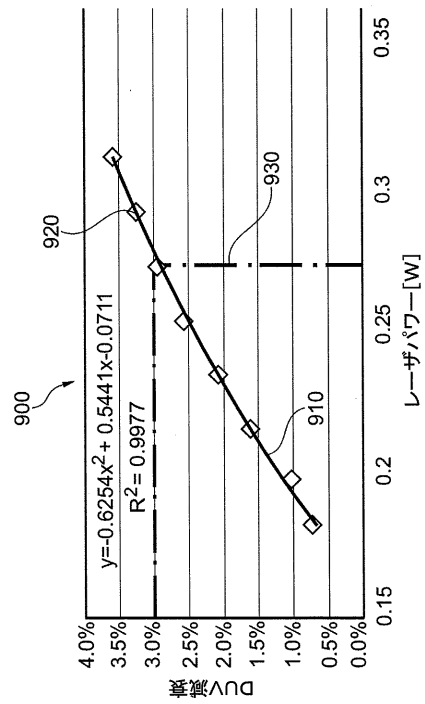


Fig. 9

【 図 1 0 】

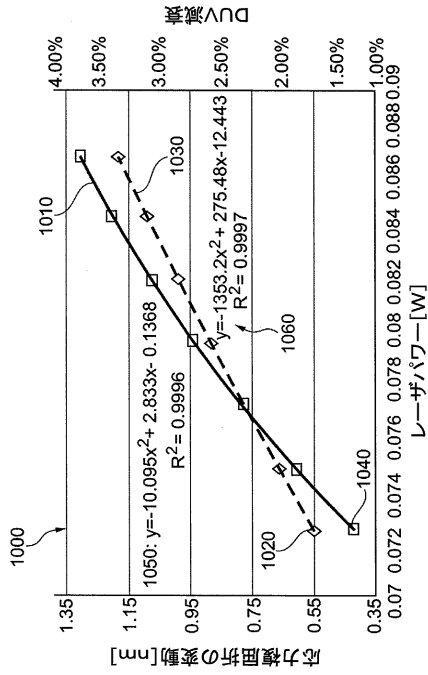


Fig. 10

【 図 1 1 】

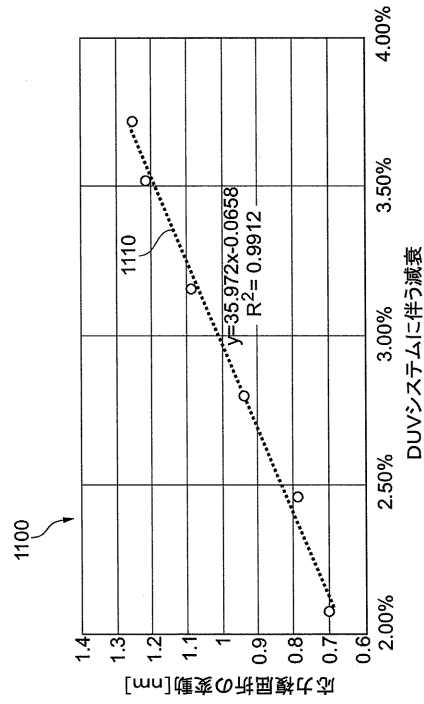


Fig. 11

【 図 1 2 】

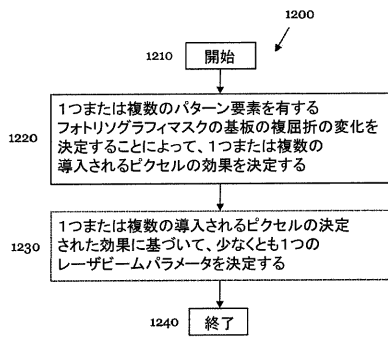


Fig. 12

【 国際調査報告 】

| INTERNATIONAL SEARCH REPORT | | International application No PCT/IB2018/055284 |
|--|--|--|
| A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. G03F1/72 G03F1/84 ADD. | | |
| According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC | | |
| B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G03F G01N | | |
| Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched | | |
| Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data | | |
| C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT | | |
| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
| X A | US 2006/234139 A1 (WATSON STERLING G [US] ET AL) 19 October 2006 (2006-10-19) abstract figures 4A,4B,5A,5B,6 paragraphs [0002], [0033], [0078] - [0084] | 1,4,9, 10,16-20 2,3,5-8, 11-15 |
| X A | US 2012/084044 A1 (DMITRIEV VLADIMIR [IL]) 5 April 2012 (2012-04-05) abstract figures 1,7-11 paragraphs [0002], [0009], [0055], [0061], [0105] - [0110] | 16-20 1-15 |
| ----- -/-- | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. | | <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex. |
| * Special categories of cited documents : | | |
| "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed | | "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family |
| Date of the actual completion of the international search 28 March 2019 | | Date of mailing of the international search report 05/04/2019 |
| Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 940-2040, Fax: (+31-70) 340-3016 | | Authorized officer Andersen, OIe |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/IB2018/055284

| C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT | | |
|--|---|-----------------------|
| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
| A | US 2012/257184 A1 (MULKENS JOHANNES CATHARINUS HUBERTUS [NL]) 11 October 2012 (2012-10-11) abstract figures 3-5 paragraphs [0002], [0011], [0049] - [0057] ----- | 1-20 |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/IB2018/055284

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|--|------------------|--|--|
| US 2006234139 A1 | 19-10-2006 | US 2006234139 A1 WO 2006113146 A2 | 19-10-2006 26-10-2006 |
| US 2012084044 A1 | 05-04-2012 | DE 102011083774 A1 JP 5684688 B2 JP 2012088712 A KR 20120035124 A US 2012084044 A1 | 05-04-2012 18-03-2015 10-05-2012 13-04-2012 05-04-2012 |
| US 2012257184 A1 | 11-10-2012 | JP 5576423 B2 JP 2012222355 A US 2012257184 A1 | 20-08-2014 12-11-2012 11-10-2012 |

フロントページの続き

(81)指定国・地域 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT

(74)代理人 100120525

弁理士 近藤 直樹

(74)代理人 100139712

弁理士 那須 威夫

(74)代理人 100158469

弁理士 大浦 博司

(72)発明者 ヴェルテ ヨアヒム

ドイツ連邦共和国 6 4 2 8 3 ダルムシュタット リーデセルシュトラッセ 3 7

(72)発明者 シュテルン ウリ

イスラエル 3 6 0 3 2 3 6 キリヤット ティヴオン ハナーキシム 4 2 エイ

(72)発明者 ゴルハド クジャン

イスラエル 1 5 2 3 5 0 0 ノーザン レジオン クファー カマ ピーオー ボックス 7 8
6

(72)発明者 ドミトリエフ ウラディミル

イスラエル 2 0 1 0 4 0 0 ツーリット ハオレン ストリート 2 3

Fターム(参考) 2H195 BA07 BA10 BD02 BD13 BD15 BD34 CA11 CA22

5F146 AA32