

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7169299号

(P7169299)

(45)発行日 令和4年11月10日(2022.11.10)

(24)登録日 令和4年11月1日(2022.11.1)

(51)国際特許分類

F I

H 0 1 L 21/66 (2006.01)

H 0 1 L 21/66 J

G 0 3 F 1/26 (2012.01)

G 0 3 F 1/26

G 0 1 N 21/956(2006.01)

G 0 1 N 21/956 A

請求項の数 24 (全19頁)

(21)出願番号	特願2019-563050(P2019-563050)	(73)特許権者	500049141
(86)(22)出願日	平成30年5月25日(2018.5.25)		ケーエルエー コーポレーション
(65)公表番号	特表2020-522124(P2020-522124 A)		アメリカ合衆国 カリフォルニア ミルピタス ワン テクノロジー ドライブ
(43)公表日	令和2年7月27日(2020.7.27)	(74)代理人	110001210弁理士法人 Y K I 国際特許事務所
(86)国際出願番号	PCT/US2018/034521	(72)発明者	セズジナー アブドゥラフマン
(87)国際公開番号	WO2018/218092		アメリカ合衆国 カリフォルニア モンテセレーノ ワージー ロード 1 9 0 2 0
(87)国際公開日	平成30年11月29日(2018.11.29)	(72)発明者	パーク カルジット
審査請求日	令和3年5月21日(2021.5.21)		アメリカ合衆国 カリフォルニア フリーモント フォンテインブルー パーク レーン 4 2 6 6 7
(31)優先権主張番号	62/511,444	(72)発明者	ヴェラ エリック
(32)優先日	平成29年5月26日(2017.5.26)		アメリカ合衆国 カリフォルニア マウン
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		最終頁に続く
(31)優先権主張番号	15/882,951		
(32)優先日	平成30年1月29日(2018.1.29)		
	最終頁に続く		

(54)【発明の名称】 層を介し光の位相及び振幅を計測する装置及び方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

位相シフトターゲットを有するフォトマスクの位相シフト量を判別する方法であって、

検査又は計量システムを用い入射ビームを前記ターゲットへと差し向けるステップであり、前記ターゲットが、基板上に堆積された位相シフト層で形成された第1部分と、そこからその位相シフト層が除去された第2部分とを備え、前記入射ビームを前記ターゲットの前記第1部分と前記第2部分のそれぞれに差し向けるステップと、

前記入射ビームに応じた前記ターゲットの前記第1部分と前記第2部分のそれぞれの透過による複数個の第1の強度値を前記検査又は計量システムを用い計測するステップであり、前記第1の強度値は、その上で前記検査又は計量システムの瞳面が形成される1個又は複数個の検出器で計測されるステップと、

前記ターゲットの前記第1部分と前記第2部分それぞれからの前記第1の強度値の計測に基づき前記ターゲットに係る位相シフト量の値を判別して格納するステップと、

前記入射ビームに応じた前記フォトマスクの透過による複数個の第2の強度値を前記検査又は計量システムを用い計測するステップであり、前記第2の強度値は、その上でフォトマスク面が結像される1個又は複数個の検出器で計測されるステップと、

前記第2の強度値の計測に基づき欠陥を検出するステップと、

を有する方法。

【請求項 2】

請求項1に記載の方法であって、前記ターゲットの前記第1部分及び前記第2部分が、

10

20

前記入射ビームが前記第 1 部分及び前記第 2 部分のそれぞれに差し向けられたときに、前記入射ビームの照明野を完全に満たすサイズを有する方法。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の方法であって、前記ターゲットが、更に、前記位相シフト層内にエッチング形成された 1 個又は複数個の格子が備わる第 3 部分を備え、前記第 1 の強度値はさらに結像回折次数毎に取得される方法。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の方法であって、前記第 3 部分が 2 個以上の格子を備える方法。

【請求項 5】

請求項 3 に記載の方法であって、前記 1 個又は複数個の格子が、前記位相シフト層からエッチング形成された複数本の線で形成されている方法。

10

【請求項 6】

請求項 3 に記載の方法であって、前記 1 個又は複数個の格子が、前記位相シフト層からエッチング形成された孔又はピラー（柱）の二次元アレイで形成されている方法。

【請求項 7】

請求項 1 に記載の方法であって、更に、
前記入射ビームに応じた前記ターゲットでの反射による複数個の第 1 の反射強度値を計測するステップであり、前記位相シフト量の値がそれら第 1 の反射強度値にも基づくステップと、
前記入射ビームに応じた前記フォトマスクから反射した複数個の第 2 の反射強度値を計測するステップを有し、欠陥検出はさらに前記第 2 の反射強度値に基づく方法。

20

【請求項 8】

請求項 1 に記載の方法であって、前記第 1 の強度値がベルTRANレンズを用い前記瞳面の瞳像から取得され、前記ベルTRANレンズは、前記第 1 の強度値の計測の間に前記入射ビームに応じて前記ターゲットから透過した出射ビームの経路に挿入され、前記第 2 の強度値の計測の間に前記出射ビームから除去される方法。

【請求項 9】

請求項 8 に記載の方法であって、前記検査又は計量システムはレティクル検査システムである方法。

30

【請求項 10】

請求項 9 に記載の方法であって、前記レティクル検査システムが対物系を備え、その対物系の瞳面の瞳像から前記第 1 の強度値が取得される方法。

【請求項 11】

請求項 10 に記載の方法であって、前記対物系が反射又は屈折素子である方法。

【請求項 12】

請求項 1 に記載の方法であって、それにより計算される強度値と前記第 1 の強度値との間の差分が最小化されるまで強度値計算モデルのパラメタ複数個を調整し、その上でそれらモデルパラメタに係る最終値に基づきそのモデルを用い位相シフト量を判別することによって、前記位相シフト量が判別される方法。

40

【請求項 13】

基板上に堆積された位相シフト層で形成された第 1 部分と、そこからその位相シフト層が除去された第 2 部分とを備えた位相シフトターゲットを有するフォトマスクの位相シフト量を判別するシステムであって、

入射ビームを前記フォトマスクと前記ターゲットの前記第 1 部分と前記第 2 部分それぞれへと差し向ける照明光学系と、

前記入射ビームに応じた前記ターゲットの前記第 1 部分及び前記第 2 部分の透過による複数個の第 1 の強度値を計測し、前記フォトマスクの透過による複数個の第 2 の強度値を計測する、1 個又は複数個の検出器を有する集光光学系と、

前記第 1 の強度値に基づき前記ターゲットに係る位相シフト量の値を判別して格納し、

50

前記第 1 の強度値は、その上で前記システムの瞳面が形成される 1 個又は複数個の検出器で計測され、前記第 2 の強度値の計測に基づいて欠陥を検出し、前記第 2 の強度値は、その上でフォトマスク面が結像される 1 個又は複数個の検出器で計測されるよう構成されたコントローラと、

を備えるシステム。

【請求項 1 4】

請求項 1 3 に記載のシステムであって、前記ターゲットの前記第 1 部分及び前記第 2 部分が、前記入射ビームが前記第 1 部分及び前記第 2 部分のそれぞれに差し向けられたときに、前記入射ビームの照明野を完全に満たすサイズを有するシステム。

【請求項 1 5】

請求項 1 4 に記載のシステムであって、前記ターゲットが、更に、前記位相シフト層内にエッチング形成された 1 個又は複数個の格子が備わる第 3 部分を備え、前記第 1 の強度値はさらに結像回折次数毎に取得されるシステム。

【請求項 1 6】

請求項 1 5 に記載のシステムであって、前記第 3 部分が 2 個以上の格子を備えるシステム。

【請求項 1 7】

請求項 1 5 に記載のシステムであって、前記 1 個又は複数個の格子が、前記位相シフト層からエッチング形成された複数本の線で形成されているシステム。

【請求項 1 8】

請求項 1 5 に記載のシステムであって、前記 1 個又は複数個の格子が、前記位相シフト層からエッチング形成された孔又はピラー（柱）の二次元アレイで形成されているシステム。

【請求項 1 9】

請求項 1 3 に記載のシステムであって、前記コントローラが、更に、
前記入射ビームに応じた前記ターゲットでの反射による複数個の第 1 の反射強度値を計測し、前記位相シフト量の値が前記第 1 の反射強度値に基づいており、
前記入射ビームに応じた前記フォトマスクから反射した複数個の第 2 の反射強度値を計測し、欠陥検出はさらに前記第 2 の反射強度値に基づくよう構成されているシステム。

【請求項 2 0】

請求項 1 3 に記載のシステムであって、さらにベルTRANレンズを備え、前記第 1 の強度値がベルTRANレンズを用い瞳面の瞳像から取得され、前記ベルTRANレンズは、前記第 1 の強度値の計測の間に前記入射ビームに応じて前記ターゲットから透過した出射ビームの経路に挿入され、前記第 2 の強度値の計測の間に前記出射ビームから除去されるシステム。

【請求項 2 1】

請求項 2 0 に記載のシステムであって、レティクル検査システムの形態を採るシステム。

【請求項 2 2】

請求項 2 1 に記載のシステムであって、更に対物系を備え、その対物系の瞳面の瞳像から前記第 1 の強度値が取得されるシステム。

【請求項 2 3】

請求項 2 2 に記載のシステムであって、前記対物系が反射又は屈折素子であるシステム。

【請求項 2 4】

請求項 1 3 に記載のシステムであって、それにより計算される強度値と前記第 1 の強度値との間の差分が最小化されるまで強度値計算モデルのパラメタ複数個を調整し、その上でそれらモデルパラメタに係る最終値に基づきそのモデルを用い位相シフト量を判別することによって、前記位相シフト量が判別されるシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

10

20

30

40

50

本発明は、一般的には半導体レティクル等を計測する方法及びシステムに関し、より具体的にはそうしたレティクル内を透過した光の位相及び振幅の計測に関する。

【背景技術】

【0002】

(関連出願への相互参照)

本願では先行出願たる Abdurrahman (Apo) Sezginer et al. 名義の2017年5月26日付米国仮特許出願第62/511444号の利益を主張しており、参照により同出願の全容が目的を問わず本願に繰り入れられている。

【0003】

以前から、集積回路の製造に用いられるフォトリソグラフィシステムが存在している。そうしたシステムについては、回路製品内極微細部分の精密製造及び形成にて非常に有効なことが判明している。ある種のフォトリソグラフィシステムでは、光又は輻射ビーム(例:UV即ち紫外光)を介しパターンが転写され、それにより基板上に回路像が書き込まれる。例えば、フォトレジスト等の照射感応性素材で被覆されたシリコンウェハ上へと、パターンニング済のレティクルを介して、そのリソグラフィシステムに備わる光源又は輻射源により回路像を投射すればよい。こうして露光されたフォトレジストにより通常はパターンが形成され、現像後にはそのウェハの諸層がそのパターンによって後続のエッチングプロセス中にマスクングされる。

10

【0004】

大規模な回路集積と半導体デバイスのサイズ縮小とが原因で、レティクル及び被作成デバイスが構造及びプロセスばらつきに対かなり敏感になってきた。それらのばらつきは、補正しなければ歩留まりに悪影響を及ぼしかねない。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】米国特許出願公開第2013/0122403号

米国特許出願公開第2015/0276617号

米国特許出願公開第2015/0198541号

【非特許文献】

【0006】

【文献】J. E. Sipe, "New Green-function formalism for surface optics" J. Opt. Soc. Am. B, vol. 4, no. 4, p. 481, Apr. 1987

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

半導体標本の様々な特性を計測し、それにより歩留まりを改善するため、数多くの技術が開発されてきた。しかしながら、半導体標本の特性を計測するためのターゲット、装置及び技術を改善することが引き続き求められている。

【課題を解決するための手段】

【0008】

以下、本発明のある種の実施形態についての基本的理解を図るべく本件開示の簡略な概要を提示する。この概要は本件開示の包括的概観ではなく、本発明の主要/肝要素を特定するものでも本発明の技術的範囲を括るものでもない。この概要の目的はただ一つ、本願に開示されている幾つかの概念を単純化形態にて提供して、後に提示する詳細記述への序章にすることにある。

40

【0009】

ある実施形態では、移相(位相シフト)ターゲット(phase-shift target)を有するフォトマスクの移相量(位相シフト量; phase shift)を判別する方法が開示される。検査又は計量システムを用い、入射ビームをそのターゲットへと差し向けた上で、その入射ビームに応じたターゲット内透過による複数個の強度計測値が検出される。その上でそれら強度計

50

測値に基づきそのターゲットに係る移相量の値(位相シフト量の値: phase shift value)を判別すればよい。

【 0 0 1 0 】

ある具体的実現形態のターゲットは、基板上に堆積された移相層(位相シフト層: phase-shifting layer)で形成された第 1 部分と、そこからその移相層(位相シフト層)が除去された第 2 部分と、を備え、それら第 1 及び第 2 部分が、それぞれ、入射ビームの照明野を完全に満たすサイズを有する。更なる態様のターゲットは、更に、移相層(位相シフト層)内にエッチング形成(etch)された 1 個又は複数個の格子が備わる第 3 部分を備え、強度計測値が更に結像回折次数毎に取得される。ある態様ではその第 3 部分が 2 個以上の格子を備える。ある代替的態様では、当該 1 個又は複数個の格子が、それぞれ、移相層(位相シフト層)からエッチング形成された複数本の線で形成される。別のある実施形態では、当該 1 個又は複数個の格子が、移相層(位相シフト層)からエッチング形成された孔又はピラー(柱)の二次元アレイで形成される。

10

【 0 0 1 1 】

別のある実施形態では、入射ビームに応じたターゲットでの反射による複数個の反射強度値が計測され、前記移相量(位相シフト量)の値がそれら反射強度値にも基づくものとされる。ある態様では強度計測値がベルTRANレンズを用い瞳像から取得される。別のある実施形態では、差し向ける動作及び検出する動作がレティクル検査システムによって実行される。更なる態様では、その検査システムが対物系を備え、その対物系の瞳像から強度計測値が取得される。別のある態様ではその対物系が反射又は屈折素子とされる。ある代替的实现形態では、それにより計算される強度値と強度計測値との間の差分が最小化されるまで強度値計算モデルのパラメタ複数個を調整し、その上でそれらモデルパラメタに係る最終値に基づきそのモデルを用い移相量(位相シフト量)を判別することによって、移相量(位相シフト量)が判別される。

20

【 0 0 1 2 】

本発明のある代替的实现形態は、移相(位相シフト)ターゲットを有するフォトマスクの移相量(位相シフト量)を判別するシステムに関する。本システムは、入射ビームをそのターゲットへと差し向ける照明光学系と、その入射ビームに応じたターゲット内透過による複数個の強度値を計測する集光光学系と、を有する。本システムは、更に、それら強度計測値に基づきそのターゲットに係る移相量(位相シフト量)の値を判別して格納するよう構成されたコントローラを有する。そのコントローラは、更に、上述した方法の動作のうち 1 個又は複数個を実行するように構成される。本発明のある種の実施形態は更に本願記載の具体的ターゲットに関する。

30

【 0 0 1 3 】

本発明のこれらの特徴及びその他の諸特徴を、本発明の諸実施形態についての後掲の詳細説明と、本発明の諸原理を例示により描出する添付図面とにより、より詳細に提示する。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 4 】

【 図 1 】埋込 P S M の移相性部分(phase-shifting portion)及び透明部分の側面図である。

40

【 図 2 】交互型 P S M の側面図である。

【 図 3 A 】本発明の一実施形態に従い P S M 上での位相を判別するよう構成されたビームプロファイリングシステム 3 0 0 の表現図である。

【 図 3 B 】本発明の代替的实现形態に係る位相判別技術を実現するよう構成されたフォトマスク検査装置の表現図である。

【 図 3 C 】本発明の代替的实现形態に係る位相判別技術を実現するよう構成されたフォトマスク検査装置の表現図である。

【 図 4 A 】本発明の一実施形態に係るマスク品質認定プロセス 4 5 0 を描いたフローチャートである。

【 図 4 B 】本発明の第 1 実施形態に係るレティクル向け位相及び振幅判別プロセスを描い

50

たフローチャートである。

【図 5 A】本発明の第 2 実施形態に係り膜スタック部分及び基板部分と共に計測されうる周期的ターゲット部分の表現図である。

【図 5 B】シリカ基板上の MoSi 膜内にエッチング形成されたライン格子なる形態を採る格子ターゲット部分から瞳面内に集光された像の一例を示す図である。

【図 6】本発明の第 2 実施形態に係る位相及び振幅判別手順を描いたフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、本発明の具体的実施形態について詳細に参照することにする。その実施形態の一例が添付図面に描かれている。この具体的実施形態との関連で本発明を記述するけれども、ご理解頂けるように本発明を一実施形態に限定する意図はない。その逆に、別項の諸請求項により定義される本発明の神髄及び技術的範囲内に包含されうるところの代替物、変形及び等価物をカバーする意図がある。以下の記述では、本発明の一貫理解を図るべく多数の具体的細部が説明されている。それら具体的細部の一部又は全部を欠いて本発明を実施してもよい。他方、本発明を不必要に曖昧化させないため、周知なプロセス動作については詳述していない。

【0016】

フォトマスクは、一般に、例えばガラス、ホウケイ酸ガラス、石英又は熔融シリカ製の透明基板を有して、その上には不透明素材層が形成されている。ある一般的類型によれば、フォトリソグラフィ光（例：深UV又は極端UV）を阻止する好適素材全てが不透明（又は実質不透明）素材に包含されうる。素材例としてはクロム、ケイ化モリブデン（ MoSi ）、ケイ化タンタル、ケイ化タングステン、不透明 MoSi オンガラス（ OMOG ）等々がある。ポリシリコン膜をそれら不透明層・透明基板間に付加して接着性を改善してもよい。低反射膜、例えば酸化モリブデン（ MoO_2 ）、酸化タングステン（ WO_2 ）、酸化チタン（ TiO_2 ）又は酸化クロム（ CrO_2 ）をその不透明素材上に形成してもよい。

【0017】

バイナリマスクは、一般に、ウェハ上のフォトレジスト素材内にパターンを露光形成するように配列された不透明部分及び透明部分を有しており、非露光パターンを更に処理（例：エッチング）することでそのウェハ上の下地膜内にパターンを形成することができる。しかしながら、不透明なフィーチャ（形状的特徴）には収縮につれてさほど不透明でなくなる傾向があるため、バイナリマスクには分解能限界、例えばラインスペース（線対間隙）フィーチャに係るそれがある。フィーチャサイズの縮小が続いているものの、移相マスク（ PSM ）であれば、ますます小型化しているフィーチャ例えばラインスペースフィーチャを印刷するに当たり、干渉効果の使用を通じより秀逸なコントラストを提供することができる。

【0018】

PSM には、他の位相非改変性マスク領域とは対照的に入射輻射位相を改変するよう設計された、選りすぐりの移相性領域（*phase-shifting region*）を設けることができ、それによって、透明マスク領域及び不透明マスク領域しか有していないバイナリマスクにより形成されるであろうそれに比べ多数のフィーチャを、そのウェハ上に形成することが可能となりうる。それら相異なる PSM 領域の位相差は、一般に、強調干渉が生じるように設計される。例えば、6%の透過強度及び 180° の移相量を呈するよう調整された部分透過素材（ MoSi ）で PSM 領域を形成することができる。他の PSM 領域に部分透過特性を持たせ例えばその透過率を 6% ~ 24% の範囲内にすればよい。

【0019】

パターンを任意レイアウトするため適用される移相（位相シフト；即ちハーフトーン）素材の一種に、減衰又はハーフトーン PSM と呼ばれ又は埋込移相（位相シフト）マスク（ EPM ）とも呼ばれていて、不透明フィーチャに代え部分透過性な「ハーフトーン」

10

20

30

40

50

フィーチャ付で作成されるものがある。E P S M 部分 1 2 0 の一例が図 1 に示されており、これには移相 (位相シフト) 性部分 1 2 2 a 及び透明部分 1 2 2 b が備わっている。なお、以下では便宜上、位相シフトを「移相」と称する。

【 0 0 2 0 】

移相性部分 1 2 2 a は、一種類又は複数種類の移相性素材を含有する膜 (層) を交互に堆積させたスタックで構成することができる。例えば、基板 1 0 2 上に形成された膜スタックで移相性部分 1 2 2 a を構成することができ、その膜スタックは、減衰移相層 1 2 6 例えばケイ化モリブデン (M o S i) と、薄い酸化又はパッシベーション層 1 2 8、例えば移相層 1 2 6 の酸化で生じた S i O₂ の層又は意図的にパッシベーション層として堆積させた層とを、有するものとしてすることができる。S i O₂ は酸化又はパッシベーション層の一例である。移相性部分 1 2 2 a の表面を、他の化合物で被覆してもよいし粗面化してもよい。他の膜スタックも可能である。例えば、その M o S i 層を、所望値の減衰及び移相量がもたらされる複数個の層で置き換えることができよう。ターゲットの非移相性部分 1 2 2 b は、例えばベアシリカ基板等、どのような好適素材で構成してもよい。

10

【 0 0 2 1 】

交互型 P S M、A L T P S M 或いはレベンソン P S M ではまた別の移相手法、即ち透明基板の諸部分を厚み違いとする手法が利用され、それにより相異なる移相量を発生させている。図 2 は透明基板 2 0 2 を有する交互型 P S M の側面図であり、この P S M には移相性領域 2 0 4 並びに複数個の不透明部分 2 0 6 a、2 0 6 b 及び 2 0 6 c が備わっている。この交互型 P S M はベア基板部分例えば 2 0 8 をも有している。これとは別の実施形態の P S M では、不透明素材が被せられた移相性膜スタックが設けられることもある。

20

【 0 0 2 2 】

図示の通り、移相性領域 2 0 4 は窪んだ形状であり、ベア基板部分 2 0 8 の厚み t_2 よりも小さな厚み t_1 を有している。これに代え、移相性領域を他の基板部分よりも厚手なもの (例、プラトー (台地状) 形状) にしてもよい。言い換えれば、交互型 P S M は、基板厚を変えるだけ、例えば窪み及び / 又はプラトーにすることだけで構成することができ、その上に不透明部分や部分透過部分を形成しなくてもよい。

【 0 0 2 3 】

P S M の欠陥関連検査や、製造デバイスの歩留まりに悪影響を及ぼしうる特性の計測には、様々な手法が存在している。あるテストケースによれば、P S M の様々な移相性部分内を透過した光の振幅及び位相を取得し、品質制御目的で評価することができる。ある計測手法によれば、干渉計ツールを用い位相を計測することができる。しかしながら、この技術では、そのマスク検査ツール及びそれに関連するマスク検査時間に加え、別個の干渉計ツール及び試験サイクル時間が必要となる。

30

【 0 0 2 4 】

本発明のある種の実施形態によれば、特殊な P S M 上移相ターゲットとマスク検査ツールとを利用し、それら移相ターゲット及び P S M に係る位相値を判別することができる。その計量ターゲットを適宜設計することで、そのマスクに備わる 1 個又は複数個の移相層を介した電磁波形特性例えば位相及び振幅の透過計測が可能となる。幾つかのターゲットをマスク上に配置してもよい。ある実施形態によれば、ターゲットをそのマスク上のペリクルフレーム外に配置することで、より広い領域を利用することができる。

40

【 0 0 2 5 】

一般に、それらフォトマスクターゲットのうち 1 個を透過した電磁輻射 (即ち光) を、集光光学系によって集光することができる。そして、その集光光学系の瞳における照射強度をセンサ、例えば C C D 又は C M O S センサアレイによって記録することができ、またその強度を用い以下詳述の如く移相量を判別することができる。

【 0 0 2 6 】

ある層を介した透過 (T) の振幅はそのマスクの二部分、即ち層存在部分 (layer present) 及び層除去部分 (layer removed) に亘り計測された強度 (Intensity) の比

【 数 1 】

50

$$|T| = \frac{\text{Intensity}(\text{layer present})}{\text{Intensity}(\text{layer removed})}$$

Equation_1

により判別することができる。

【 0 0 2 7 】

第 1 実施形態では各ターゲットに 2 個の部分、即ち移相層が除去された領域と移相層が健在な領域とを設けている。例えば、そのターゲットに、図 1 に描いた如くターゲット部分 1 2 2 a 及び 1 2 2 b を設けるとよい。ターゲットの各領域のサイズを十分に大きくすることで、本実施形態に係るマスクを照明するフィールド（照明野）を完全に満たすことができる。例えば各部分の拡がりを 2 0 0 μm × 2 0 0 μm にするとよい。そのマスクを実質的に単色の光で照明してもよい。ある具体的実現形態における照明の比帯域幅は例えば 1 % 未満である。

10

【 0 0 2 8 】

本願記載の位相判別技術は、格別に構成された様々な反射型又は透過型システム上で実施することができる。図 3 A は、本発明の一実施形態に従い P S M 上での位相を判別するよう構成されたビームプロファイリングシステム 3 0 0 の表現図である。そうした位相判別技術について以下更に説明する。

【 0 0 2 9 】

本システム 3 0 0 は、大略、輻射ビームを発生させて標本、例えばレティクル面 3 0 2 内に所在するフォトマスク M へと差し向ける照明光学系 3 0 1 a を有している。具体的には、システム 3 0 0 に備わる輻射源 3 1 0 により生成された入射電磁輻射ビームが、照明光学系 3 0 1 a を介しレティクル面 3 0 2 内のフォトマスク M (3 0 3) 上へと差し向けられている。例えば、その輻射源をランプ又はレーザの形態にし、可視、I R、U V 及び / 又は X 線光スペクトルの輻射を発生させればよい。位相判別モードでは、そのフォトリソグラフィシステムにより用いられる波長に似た波長、例えば 1 9 3 nm 未満を用いるのが望ましい。

20

【 0 0 3 0 】

フォトマスク M を検査する際には、レティクル面 3 0 2 にあるマスクステージ上にそれを配置し、輻射源 3 1 0 からの入射ビームにさらせばよい。何らかの好適な機構によって、そのマスクステージに対し照明光学カラムを動かし、及び / 又は、検出器又はカメラに対しそのステージを動かして、そのレティクルの特定領域をイメージング / スキャンすればよい。例えば、モータ機構を利用することで、ターゲットの結像対象部分それぞれに対し、そのステージを動かせばよい。そのモータ機構は、例えば、スクリュードライブ及びステッパモータ、位置フィードバック付リニアドライブ、或いはバンドアクチュエータ及びステッパモータで形成すればよい。

30

【 0 0 3 1 】

照明光学系 3 0 1 a には、入射ビームの調光及び整形に適するあらゆる素子を設けることができる。諸例によれば、その照明光学系 3 0 1 a に、数値開口 (N A)、スポットサイズ、偏向又は付加的波面制御を設定する部材 (例 . 3 1 2)、例えば偏光子、波長板、アパーチャ、空間光変調器等々を設けることができる。本システム 3 0 0 には、その照明ビームの向きを更に操作する 1 個又は複数個のビームスプリッタ又は鏡 (例 . 3 2 6) や、レティクル面 3 0 2 にある標本 M のターゲット上にその入射ビーム 3 0 1 b を集束させる対物系 3 1 4 も、設けることができる。その対物系 3 1 4 を、比較的高い N A 例えば 0 . 8 超を呈するよう構成してもよい。

40

【 0 0 3 2 】

様々な空間コヒーレンス及びそれに対応する入射角を達成するには、本システム 3 0 0 に照明瞳フィルタ (例 . 3 1 2) を設けることで、照明が透過し又は反射されるようその照明瞳の様々な空間部分を構成すればよい。図示例によれば、そのフィルタ 3 1 2 を調整することで、その瞳全体が照明されるようにすることができる。その照明で対物系瞳が満

50

たされているならは1に等しい。このパラメタは、照明アパーチャが光で満たされている比率の指標である。

【0033】

入射ビームに応じ、そのターゲットでの反射、透過、回折及び／又は散乱により出射ビームが生じる。ある種の実施形態によれば、その透過及び／又は反射集光側を利用し、欠陥を検出すること、様々な膜又は基板特性を判別すること、並びに以下詳述の如くそのフォトマスクの相対位相を判別することができる。図示の通り、掲題のシステム300は透過側集光光学系303a及び反射側集光光学系303bを有している。輻射のうちそのマスクM内を透過したものは、一群の光学素子303aを介しセンサ304a上に差し向けられる。反射側では、光学素子（例：レンズ314及びビームスプリッタ326）によつて、反射輻射がセンサ304b上へと差し向けられる。集光光学系303a及び303bには、それに対応する出射ビームを調光、整形及び投射しうるあらゆる部材、例えばチューブレンズ、アパーチャ、視野絞り、空間光変調器、偏向光学系（例：検光子及び波長板）等々を設けることができる。

10

【0034】

図示例では、そのアレイ上の各位置が特定の入射角（AOI）に対応するよう、マスク内透過輻射が検出器アレイ304aにより収集される。同様に、そのアレイ上の各位置が特定のAOIに対応するよう、そのマスクMで反射された輻射を検出器アレイ304bにより収集することができる。検出器アレイ304a／bは概ねそのレティクル表面のフーリエ変換面内に配置される。例えば、各検出器を、対物系316／314の後方瞳面に対し共役とすることができる。好適なセンサとしては、電荷結合デバイス（CCD）アレイ又はカメラ、時間遅延積分（TDI）センサアレイ又はカメラ、CMOS又はNMOSセンサアレイその他の二次元センサ等々がある。これに代わる諸実施形態では、一次元CCDセンサ、TDIセンサ又は光電子増倍管を利用し、相異なるパラメタ例えば相異なる入射角（AOI）に係る複数個の計測値が一時に1個ずつ順次収集されることがある。本システムに付加的なセンサ例えば分光計等々を他の検査／計量目的で設けてもよい。

20

【0035】

各センサ（例：304a及び／又は304b）によって捉えられた信号はコンピュータシステム323、より一般的には1個又は複数個の信号処理装置により処理することができ、その情報処理装置には、それぞれ、各センサからのアナログ信号を処理向けのデジタル信号に変換するよう構成されたアナログデジタルコンバータを設けることができる。コンピュータシステム323は、通常、適切なバスその他の通信機構を介し入／出力ポート及び1個又は複数個のメモリに結合された1個又は複数個のプロセッサを有している。

30

【0036】

コンピュータシステム323に、更に、焦点その他のレシビパラメタを変化させる入力等、ユーザ入力をもたらず1個又は複数個の入力装置（例：キーボード、マウス、ジョイスティック）を設けてもよい。そのコンピュータシステム323を、例えば標本位置制御（例：集束及びスキャン）用のステージに接続してもよいし、他のシステム構成部材に接続し他パラメタ及びそのシステム構成部材の構成を制御してもよい。

【0037】

コンピュータシステム323を、ユーザインタフェース（例：コンピュータ画面）を提供しうるよう（例：プログラミング命令で以て）構成し、得られた強度値、画像、位相値その他の検査／計量結果をそれにより表示させてもよい。そのコンピュータシステム323を、感知された反射及び／又は透過輻射ビームから強度、位相及び／又はその他の特性を検出し、計算し及び／又はそれを分析するよう構成してもよい。そのコンピュータシステム323を、ユーザインタフェースを（例：コンピュータ画面上に）提示しうるよう（例：プログラミング命令で以て）構成し、得られた強度値、画像、位相値その他の検査／計量特性をそれにより表示させてもよい。ある種の実施形態では、本願詳述の位相及び振幅判別技術を実行するようそのコンピュータシステム323が構成される。

40

【0038】

50

格別に構成されたコンピュータシステム上にそうした情報及びプログラム命令を実装すればよいので、そうしたシステムに組み込まれ本願記載の諸動作を実行させるプログラム命令/コンピュータコードを、非一時的コンピュータ可読媒体上に格納してもかまわない。マシン可読媒体の例としては、これに限られるものではないが、磁気媒体例えばハードディスク、フラッシュドライブ及び磁気テープ、光媒体例えばCD-ROMディスク、磁気光媒体例えば光ディスク、並びに、プログラム命令を格納及び実行しうよう格別に構成されたハードウェアデバイス例えばリードオンリメモリデバイス(ROM)及びランダムアクセスメモリ(RAM)がある。プログラム命令の例としては、マシン語コード例えばコンパイラにより生成されたそれと、高級言語コードを含むファイルでありインタプリタを用いコンピュータにより実行されうその、双方がある。

10

【0039】

ある種の実施形態によれば、位相を判別するようレティクルインスペクタシステムを構成することができる。ある具体的実施形態によれば、ベルトランレンズを用い検査顕微鏡の瞳を結像させることができる。そのベルトランレンズをシステム内に挿入し、それによりその瞳面をセンサアレイへと中継することができる。ベルトランレンズがないときにはそのレティクル面がセンサアレイ上に結像される。図3B及び図3Cには、本発明の代替的实施形態に従い位相判別技術を実現するよう構成されたフォトマスク検査装置350の図的表現が提示されている。本システム350には、上述したシステム300と共通する部材を幾つか設けることができる。

【0040】

20

図示の通り、本システム350は単色入射ビームを発する光源360を有しており、何らかの好適な照明部材、例えばレンズ361、ビームスプリッタ376及び対物レンズ364により、そのビームがマスクM(303)へと差し向けられている。

【0041】

通常反射モードでは、出射光がマスクMで反射され、対物系364及びビームスプリッタ376内を遡行し、そしてチューブレンズ366によりセンサアレイ354上へと集束される。このモードでは、マスクM、検出器アレイ354それぞれの上に共役面352a、352bが形成される。加えて、本システム350は、通常はアパーチャその他の部材が配置される照明瞳面362aと、それと連携する結像瞳362bとを有している。

【0042】

30

本システム350は、可動であり出射ビーム路内へと挿入可能なベルトランレンズ368を有している。図3Bに描かれている通常反射モードでは、出射ビーム路外にある位置へとベルトランレンズ368が動かされている。このモードでは、共役面がマスクに形成され(352a)且つ検出器アレイに形成される(352b)。位相モードでは、図3Cに示す如く出射ビームの経路上にある位置へと、そのベルトランレンズ368が動かされている。この位相モードでは、瞳面像362cを検出器アレイ354上に形成させうようベルトランレンズ368が位置決めされる。

【0043】

ある種の実施形態に係るシステムはフォトマスクを検査又は特性解明するシステムであり、それに備わる少なくとも1個のメモリ及び少なくとも1個のプロセッサが、本願記載の技術を実行するよう構成されたものである。検査システムの一例としては、米国カリフォルニア州ミルピタス所在のK L A - T e n c o r から入手可能で、例えばベルトランレンズを挿入しうよう格別に構成されたT e r o n (商標) 6 X X D U V検査システムがある。

40

【0044】

本願記載の実施形態のいずれでも、何らかの好適な検査/計量ツールを用いることで、強度計測を通じフォトマスクの移相量の値が得られるものの、インスペクタツールを使用すればレティクル評価プロセスが単純になる。他の諸例によれば、ビームプロファイルリフレクトメータ(BPR)ツール等々のツールのうち1個又は複数個を用いてもよい。それらツールのいずれであれ、1個又は複数個の入射及び集光チャネルを設けて動作させる

50

ことで、少なくとも1本の輻射ビームをレティクル上に入射させ、ひいてはターゲットについての複数個の反射及び/又は透過計測値を得ることができ、それをそのレティクルに関する位相値に供することができる。加えて、反射又は屈折光学系を例えば対物系向けに利用するシステムを利用してもよい。

【0045】

図4Aは、本発明の一実施形態に係るマスク品質認定プロセス450を描いたフローチャートである。まず、少なくとも1個のPSMターゲットを有するマスクが、動作452にて作成され品質認定されている。マスクの予備品質認定は、何らかの好適な技術によって、製造設備への進入前に行うこと及び進入後まもなくに再び行うことができる。通常のマスクは、無欠陥であり顕著なばらつき問題もないと確認される。この予備品質認定中に、本願詳述の如くその新規作成マスクに関し移相後の位相も計測することができる。その後は、動作454にて、そのマスクをフォトリソグラフィプロセス中に用い1枚又は複数枚のウェハを作成すればよい。

10

【0046】

何らかの好適タイミング又はトリガに従い、動作456にて、そのマスクを検査ツールに渡せばよい。例えば、指定枚数のウェハが作成された後に、或いは指定期間後に、そのマスクを欠陥検査ツールに渡し欠陥検出に供することができる。また例えば、移相量計測を清掃後にトリガすることができる。移相量計測値は、動作456にてそのマスクの移相ターゲットから得ればよい。他の検査及び/又は計量プロセス、例えば欠陥検出及びCD計測を、そのマスクがまだ検査ツール内にある間に実行してもよい。ある種の実施形態では、欠陥検査が実行される直前又はされた後にその移相量計測が実行される。

20

【0047】

その後は、そのマスクが仕様内か否かを動作458にて判別すればよい。例えば、何らかの顕著な欠陥が見つかった場合に、そのマスクは仕様内でないものと見なせばよい。欠陥は構造のダイ対ダイ、セル対セル又はダイ対データベース比較により見つけることができ、見つかった欠陥が所定のしきい値を上回っている場合には、見つかった何らかの差異が実欠陥として特性認定される。

【0048】

マスクが仕様内である場合、再び検査及び計測されるまでは、そのマスクを引き続き動作454にて用いられよい。マスクが仕様内でないと判別された場合は、そのマスクが修理可能であるか否かを動作460にて判別すればよい。マスクが修理可能である場合は、それを動作462にて修理すればよい。例えば、素材をそのマスクに付加し又はそこから除去すればよい。清掃プロセスを実行して粒子欠陥を除去してもよい。注記されることに、その清掃プロセス後に移相量計測を実行するのも好ましかろう。逆に、マスクが修理可能でない場合は、そのマスクを動作464にて廃棄すればよい。

30

【0049】

図4Bは、本発明の第1実施形態に係るレティクル向け位相及び振幅判別プロセス400を描いたフローチャートである。まず、移相性部分及び非移相性部分を有するターゲットが動作402にて準備される。例えば、ターゲットが採る形態を、移相性部分122a及び非移相性部分122bを有する図1のターゲット120にするとよい。

40

【0050】

また例えば、そのターゲットの移相性部分の形態を図2の基板窪み204とし、非移相性部分の形態を無窪み基板部分208としてもよい。語「移相性」で参照されるターゲット内領域は、「非移相性」のターゲット部分に比しある相対位相を呈するものである。図2の例では、無窪み基板領域208が基板窪み204と位相的に異なるものとなろう。これに代わる諸例では、マスク上での相対位相を判別するためのターゲットが採る形態が、プラトー及び非プラトー部分、プラトー及び窪み部分、高さが異なる幾つかのプラトー部分、深さが異なる幾つかの窪み部分、或いはそれらの何らかの組合せとなろう。

【0051】

位相判別用ターゲットが準備された後は、入射輻射をターゲットの各部分へと差し向け

50

ればよく、それを受け動作 4 0 4 にて強度が計測される。例えば、図 1 のターゲットの各部分 1 2 2 a 及び 1 2 2 b を、検査システムの放射源例えばシステム 3 5 0 の 3 6 0、或いは他種の何らかのツールによって一時に 1 個ずつ照明すればよく、ターゲットの各部分 1 2 2 a 及び 1 2 2 b 内を通過したそこから反射されてくる出射放射を、その検査システムの検出器アレイ 3 5 4 によって集光すればよい。それら計測値を入射角 (A O I) の関数として得るとよく、またターゲットの部分毎に照明の構成を変えて複数回の計測を行ってもよい。

【 0 0 5 2 】

一般に、反射及び透過放射はターゲットの各部分の膜スタック内で (或いは基板・空気界面との関連で) 複数回の反射を被り、それら反射及び透過に干渉効果が現れる。ある実現形態によれば、その対物系の数値開口により許されている全ての角度にて、反射強度及び透過強度を得ることができる。即ち、照明フィルタ 3 1 2 を適宜設定することで、対物系瞳の瞳を満たす照明を得る (を 1 に等しくする) ことができる。その対物系瞳内の相異なる場所に、相異なる反射又は透過角がマッピングされる。例えば、ターゲットの移相性部分 (例 . 1 2 2 a) に係る強度が、ターゲットの非移相性部分 (例 . 1 2 2 b) 側の対応項目を基準として計測される。

【 0 0 5 3 】

理想化された平坦構造の反射野及び透過野は、平坦構造に係る反射及び透過強度の判別に関する論文でありこの参照を以て本願に繰り入れられる非特許文献 1 に記述の如く、厳密に計算することができる。ターゲットの移相性部分及びターゲットの非移相性部分に係る相対強度は、その膜スタックの所与パラメタ群を踏まえ、前掲の非特許文献 1 に記載の技術に似た計算を用い算出すればよい。図 1 に描かれている膜スタック 1 2 2 a に関しては、そのモデルに入力されるパラメタに、各層の厚み h_1 及び h_2 、 SiO_2 層 1 2 8 の屈折率、並びに減衰移相層 1 2 6 の複素屈折率が含まれることとなろう。

【 0 0 5 4 】

翻って図示プロセスによれば、膜スタックの 1 個又は複数個の構造パラメタを調整してモデルへの入力とし、そのモデルにより、入射ビームのパラメタ例えば A O I 等々の関数たる強度を動作 4 0 6 にて判別すればよい。その後は、計測値がモデル出力と整合しているか否かを動作 4 0 8 にて判別すればよい。何らかの好適な基準に基づき密整合有りとされるまで、或いは又は整合度 / 近接度の計測値例えば予測強度・計測強度間差分平方の総和が最小になるまで、そのモデルのパラメタを反復的に変化させればよい。その膜スタックに係る最適パラメタの探索は、準ニュートンアルゴリズムその他のアルゴリズム、例えばガウス・ニュートン、共役勾配、最速降下、レーベンバーグ・マルカート、シミュレートッドアニーリング及び / 又は遺伝的アルゴリズムを用い実施すればよい。

【 0 0 5 5 】

その最適化がひとたび完遂されたら、ターゲットの移相性部分の透過野の移相量を、それら最適化構造パラメタを用いその最終調整済モデルから、動作 4 1 2 にて算出すればよい。例えば、位相の判別には前掲の非特許文献 1 に記載の電磁波理論モデルを用いればよく、それに含まれるシミュレーション、即ち入射光が構造内を透過し、その構造が決定済の構造パラメタ値例えば h_1 、 h_2 を有していて、ターゲットの膜スタック部分に係る屈折率が非移相性部分とは対照的なシミュレーションによって、そのマスクに係る移相量の値を得ることができる。その膜スタックに係る移相量及び振幅の値を動作 4 1 2 にて通知及び格納してもよい。その後は、このプロセスを終了させればよい。

【 0 0 5 6 】

この膜スタック実施形態では、反射 (R) 及び透過 (T) 放射双方を計測する必要はないものの、R 光及び T 光双方を計測すれば幾ばくかの利益が得られる。R 及び T はどちらも A O I、膜素材及び膜厚に依存している。そのため、R 計測及び T 計測によって膜の光学特性及び厚みの判別が容易になるのである。膜内往復伝搬により光が過大減衰されていない場合、R にはその膜の厚み及び光学特性についての情報が含まれている。膜内往復伝搬により光が過大減衰されている場合、R にはその膜素材の光学特性についての情報しか

10

20

30

40

50

含まれていない。ベア基板（熔融シリカ）上ではRが0ではなく約4%であり、またそうした基板の光学特性は周知である。従って、基板からの4%計測を用いその膜上でのR計測を校正することができる。

【0057】

第2実施形態に従い、各計量ターゲットに少なくとも3個の部分、即ち移相層が除去された領域（122b）、移相層が健在な領域（122a）、並びにその層内に周期的パターン（アレイパターン）がエッチング形成された領域を、設けるようにしてもよい。図5Aは、本発明の第2実施形態に係り移相性膜スタック及びベア基板部分（例：図1）と共に計測されうる周期的ターゲット部分122cの表現図である。これに代え、そのターゲットを、格子及びベア基板部分のみを有するものとしてもよい。この計量ターゲットの各部分は、そのマスク上の照明野よりも広く、その照明野を完全に包含している。例えば、各部分の拡がりをも200μm×200μmにするとよい。

【0058】

ある好適実施形態では、そのアレイパターンが図5Aに示す如くライン格子とされる。他のアレイパターン及び形状、例えば孔又はポスト（柱）のアレイをその代わりに用いてもよい。また、同じ又は異なる構造パラメタ（例：相異なるピッチ、デューティサイクル又は寸法）を有する複数個のアレイを用い、位相計測の正確性を改善してもよい。例えば2個又は3個の格子を用いてもよい。そのアレイを、孔、ピラーその他、移相性素材内にエッチング形成された形状の二次元アレイとしてもよい。

【0059】

図示の通り、その格子部分は、透明基板104上に形成された減衰/移相層部分526a～c及び酸化/パッシベーション層部分528a～cを有する複数本のライン部分で構成すればよい。ターゲットの他部分と同様、空気130を存在させ光学モデル内に算入してもよい。

【0060】

この第2実施形態によれば、そのマスク全体を実質的に単色の光で照明すること、より子細にはそのフォトリソグラフィシステムに備わる同一の単色波長にて移相量を計測することができる。照明の比帯域幅は例えば1%未満とすればよい。ある好適実施形態では、ターゲットの格子部分へと差し向けられる照明の空間コヒーレンスが高く、例えば0.25となる。

【0061】

これに代わる諸実施形態によれば、を任意の好適数に設定すること、例えば第1実施形態の如く1に等しくすることができる。加えて、別々のターゲット部分向けに相異なる構成の照明を実施してもよい。一例としては、相異なる空間コヒーレンス値を格子部分向け（0.25）対ターゲットの膜スタック/基板部分向け（=1）で用いつつ、ターゲットの全部分に単色輻射を差し向ける。

【0062】

図5Bには、ターゲットの格子部分の形態を、シリカ基板上のMoSi膜内にエッチング形成されたライン格子とし、そこから瞳面内に集光させた像の一例が示されている。本例では、その格子のデューティサイクルが50%、ピッチpがマスクスケールで320nm（4倍縮小リソグラフィにおけるウェハスケールでは80nm）とされている。中央にあるスポットは0次回折光であり、2個のサイドローブは+1次回折光及び-1次回折光由来の強度である。要するに、移相性格子ターゲットに係る瞳面内に-1次、0次及び+1次回折光をイメージングすることができる。2個以上の格子を計測して結果を改善してもよい。

【0063】

図6は、本発明の第2実施形態に係る位相及び振幅判別手順を描いたフローチャート600である。本例では、移相性格子部分（例：122c）、移相層部分（例：122a）、並びにターゲットの非移相性部分例えばベア基板（例：122b）が動作602にて準備される。

【 0 0 6 4 】

その後は、入射輻射をターゲットの格子部分へと差し向け、各集光回折次数から動作 6 0 4 にて強度を計測すればよい。ある実施形態によれば、その格子及び瞳フィルタを適宜調整及びサイズ設定することで、0 次、+ 1 次及び - 1 次回折光をそのセンサ上に結像させることができる。本システム及び格子を適宜工夫又は設定することで、より高次の回折光、例えば + 2 次及び - 2 次回折光を撮像することができる。ある態様によれば、その格子ターゲットを照明野よりも広くすることで、その照明野が格子ターゲット内に完全に包含されるようにすることができ、またその照明の空間コヒーレンスが比較的小さくなる。例えばその格子を $200\ \mu\text{m} \times 200\ \mu\text{m}$ とする。その格子のピッチは、それら構造で散乱された光のうち通り又は複数通りの指定次数に係るものが重なり合わず、その計量システムの結像瞳内に収まるように、選択される。また、その格子のピッチ P を、 λ / P に照明 NA を加味したものがその結像瞳の NA 以下となるよう、選択するとよい。また、 λ が 0.25 以下になるよう照明フィルタ（例、 $312\ \text{nm}$ ）を設定してもよい。

10

【 0 0 6 5 】

実施形態の中には格子を AOI の関数として計測しないものがある。全回折次数での強度を相異なる幾通りかの AOI （例、最多で 7 通りの AOI ）にて計測し、それらを同時に計測及び計算して格子に係るパラメタの関数とするのである。そうした格子パラメタを適宜チューニングすることで、ある具体的実施形態によれば、全ての強度値間の全ての差分平方総和を最小化することができる。

20

【 0 0 6 6 】

本実施形態では、また、入射輻射が移相性の膜スタック部分並びにターゲットの非移相性部分へと差し向けられ、強度が動作 6 0 5 にて計測される。ここでも、強度計測値をターゲットの部分毎に入射角（ AOI ）の関数として得ることができる。要するに、強度計測値を、ターゲットの種類毎（例、格子が複数個あるなら格子毎）、 AOI 毎及び回折次数毎に得ることができる。

【 0 0 6 7 】

本実施形態によれば、強度が透過の大きさ $|T|$ 及び位相 ϕ 双方に依存するため、透過位相 ϕ を計測することができる。好適技術ではないけれども、この関係は、ライン格子の諸回折次数の複素振幅を

【数 2】

30

$$a_0 = 1 + (|T|e^{i\phi} - 1) \frac{w}{p}$$

$$a_1 = (|T|e^{i\phi} - 1) \frac{1}{\pi} \sin\left(\frac{\pi w}{p}\right)$$

Equation_2

とするキルヒホッフ近似を通じ、単純な形態で描出することができる。

【 0 0 6 8 】

但し w は格子のライン幅、 p は格子のピッチである。 T は試験下膜スタック内透過の振幅であり、複素数である。 $|T|$ はその複素 T 値の大きさ、 ϕ は同じく位相（角度）である。より精密な実施形態であれば、より正確で洗練された方法、例えば厳密結合波解析（ $RCWA$ ）によってマクスウェルの方程式を解くことで、各次回折光の強度 $|a_0|^2$ 及び $|a_1|^2$ を計算することができる。具体例としては、米国カリフォルニア州ミルピタス所在の $KLA-Tencor\ Corporation$ から入手可能なボジ型レジスト光リソグラフィ（ $PROLITH$ ）シミュレーションソフトウェアを用いることができる。一般に、マクスウェルの方程式は、有限差分時間ドメイン法（ $FDTD$ ）、有限要素法（ FEM ）、境界積分法或いは分光要素法等、何であれ好適な技術を用い解くことができる。これらの技術では、移相量 ϕ がそのモデルに直接入力されるのではなく、強度計測値からそれらターゲットの最適構造パラメタが求められた後に計算される。

40

50

【 0 0 6 9 】

膜スタックのみの第 1 実施形態と同様、構造パラメタをモデルへの入力として調整して格子及び膜スタックを介した強度を動作 6 0 6 にて判別すればよく、次いで計測値がモデル出力と整合するか否かを動作 6 0 8 にて判別すればよい。総じて、それらパラメタは、全ての入射角及び回折次数に関し同時に計測強度値・算出強度値間差分を最小化することで、調整及び最適化することができる。何らかの好適な近接度指標を用い、それらモデル結果が計測値と整合するまでそれらパラメタを調整し続けた後、上述した動作 4 1 2 にて、それら最適化された構造パラメタに基づきその調整済モデルから移相量を求めて（その移相層に係る振幅と共に）通知すればよい。但し、格子から求めた位相結果と膜スタックからのそれとが一緒に平均化されうる。同様に、複数個の格子が用いられているならそれらの個別位相値が一緒に平均化されうる。また、上述した動作 4 1 2 におけるそうした移相量判別結果に基づき、マスクが欠陥性か、修理可能か又は使用可能かを判別してもよい。

10

【 0 0 7 0 】

一般に、均一な膜とターゲットの格子部分とからの透過及び反射輻射の場合、数学的モデルを提供して瞳内強度計算に供することができる。その数学的モデルは可調パラメタ、即ち厚みパラメタ h_1 及び h_2 、格子のライン幅 w 、並びに減衰移相層の複素屈折率を含むものとなる。そのモデルの可調パラメタを適宜選択することで、計算及び計測された諸回折次数の差分平方総和を最小にすることができる。その総和が反射モード及び透過モードに亘り、またターゲットの諸部分（均一膜、第 1 ピッチの格子、第 2 ピッチの格子等々）に亘り採取される。それら構造パラメタの最小化又は最適化は、準ニュートン又はレーベンバーグ・マルカートアルゴリズムにより実行すればよい。最適パラメタが得られた後は、最終モデルから求まる最適厚 h_1 及び h_2 を有する膜スタックを介した透過野を計算することで、その位相が判別される。

20

【 0 0 7 1 】

本発明のある種の実施形態によれば、そのレティクル検査ツールを、欠陥検出及び他特性計測に加えて移相量の計測にも用いるようにすることで、ツールの個数及びサイクル時間を減らすことができる。マスクをさほど動かす必要がなく、高々ツールからツールへの移動程度でよいので、汚染があまり起こらなくもなる。汚染を除去するための清掃プロセスによって、マスクの P S M 領域内で望ましくない移相が生じることもありうるので、期待されているゴールは汚染の最小化である。実際のところ、清掃によってマスクの移相量が変わることもありうる。マスクにて移相を引き起こす源泉は多数あるので、そのフォトリソグラフィシステムに係る検査フロー内に既に密統合され用いられている検査ツール内に、マスクの移相量を判別する技術を提供することは、有益である。

30

【 0 0 7 2 】

本発明は上述の構造によって限定されるものではない。ターゲット内に含まれる構造は様々な構成及び形状、例えば線分、格子（網目）、長方形、正方形、曲線、湾曲形、円、円筒形、円錐形又はそれらの組合せを初めとするそれに従い、編成することができる。そうした構成の構造であれば、ターゲット内の様々な個所に配置することができ、且つそのターゲット上に入射する電磁輻射を基準として様々な角度を記述することができる。例えば、複数組の構造を、平行化された一組の輻射光線の、或いはそのターゲット上に入射するビームの、伝搬方向に対し垂直な一組の平行線として、編成することができよう。また例えば、一組の平行線として編成された構造を、入射輻射に対しある鋭角で、例えば 45° なる角度にて配置することができよう。或いは、それら構造を構成又は規定する平行線のうち少なくとも幾本かに対し実質的に平行になるよう、入射輻射を差し向けることができよう。

40

【 0 0 7 3 】

上述した実施形態のいずれでも、計測又は導出された移相量その他のパラメタが仕様外であるか否かが判別されうる。そのパラメタが有意（所定値超）でない場合に、そのターゲットが仕様内であると判別されうる。

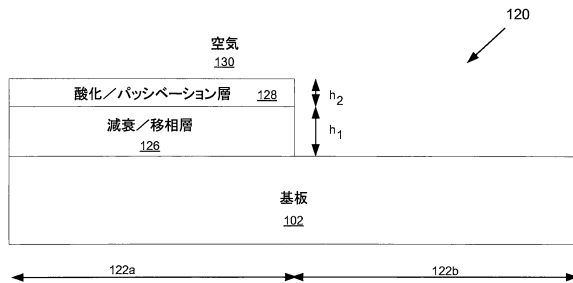
50

【 0 0 7 4 】

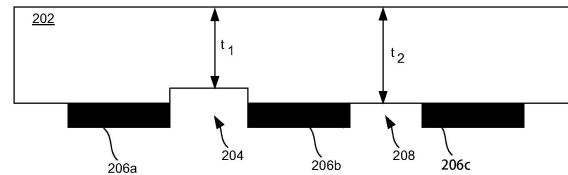
上掲の発明について理解明瞭化目的である程度詳細に記述してきたが、明らかな通り、別項の諸請求項の技術的範囲内である種の改変及び修正を実施することができる。従って、記載されている諸実施形態は限定ではなく例証として解されるべきであり、また本発明は本願所与の細部に限定されるべきではなく後掲の諸請求項及びそれらの全幅の等価物により特定されるべきものである。

【 図 面 】

【 図 1 】



【 図 2 】



10

【 図 3 A 】

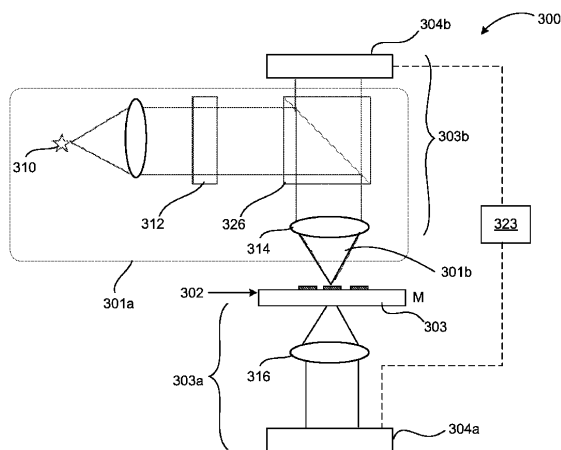
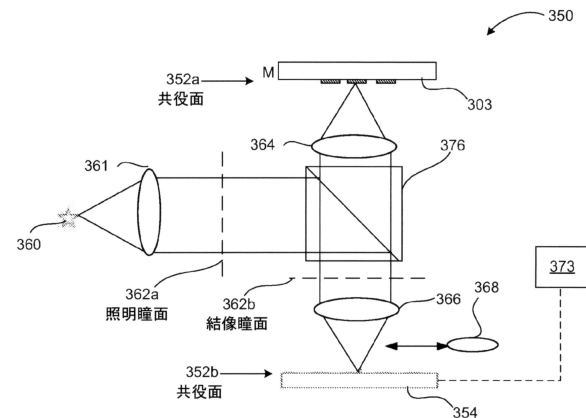


Figure 3A

【 図 3 B 】



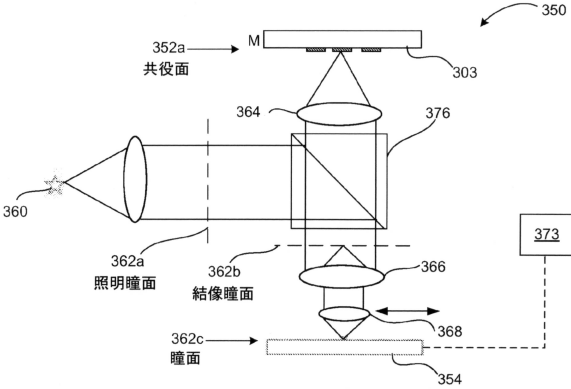
20

30

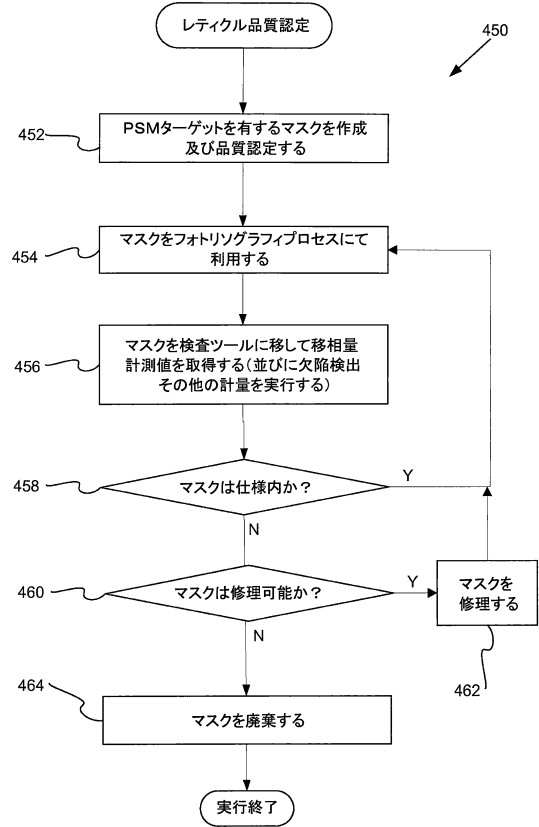
40

50

【図 3 C】



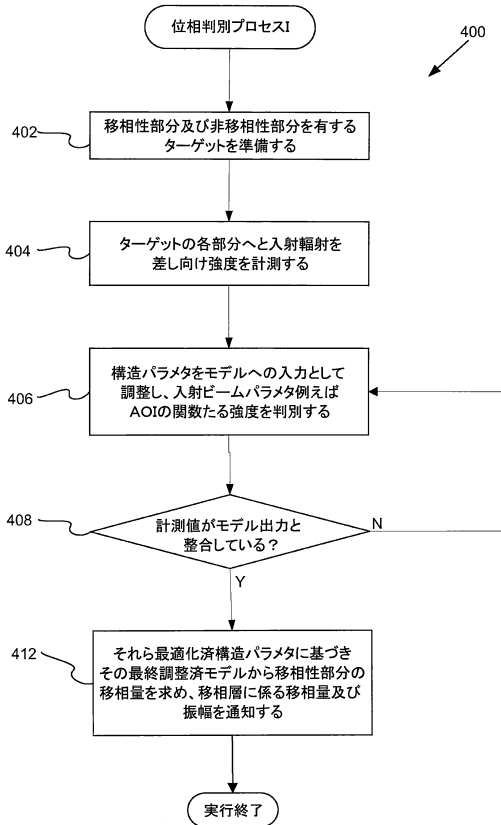
【図 4 A】



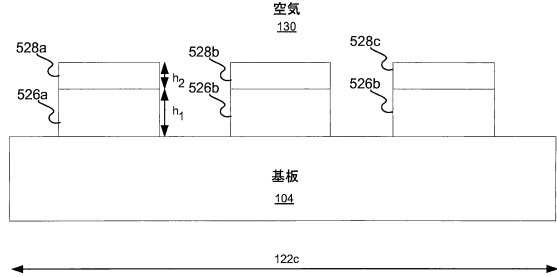
10

20

【図 4 B】



【図 5 A】



30

40

50

【図 5 B】

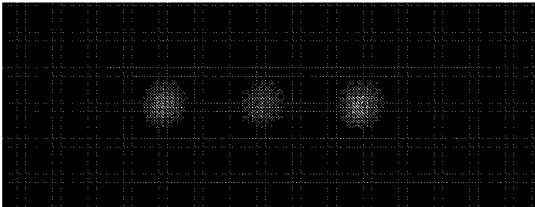
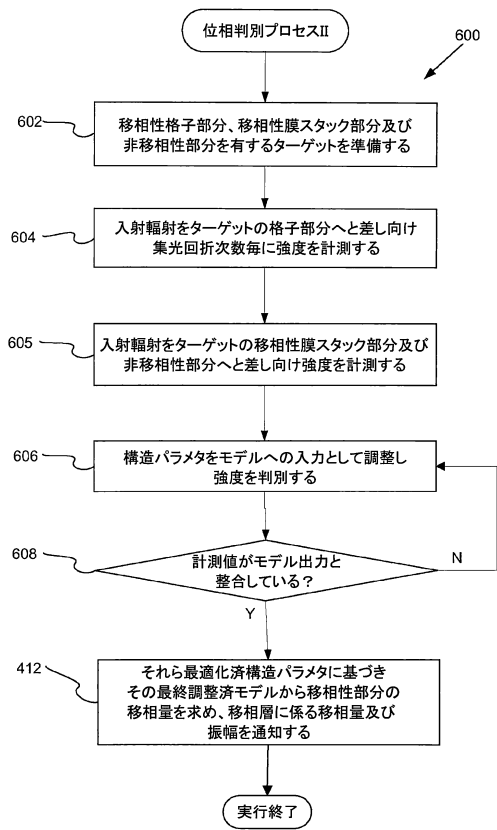


Figure 5B

【図 6】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(33)優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

テン ビュー ベンジャミン ドライブ 2 4 4 6

審査官 堀江 義隆

(56)参考文献 特開平 0 4 - 1 4 6 4 3 7 (J P , A)

特開 2 0 0 1 - 1 8 3 8 1 2 (J P , A)

特開平 0 8 - 2 4 8 6 1 7 (J P , A)

特表 2 0 1 2 - 5 3 1 0 4 2 (J P , A)

特開平 1 0 - 1 7 7 2 4 6 (J P , A)

米国特許出願公開第 2 0 1 2 / 0 0 7 5 4 5 6 (U S , A 1)

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)

H 0 1 L 2 1 / 6 6

G 0 3 F 1 / 2 6

G 0 1 N 2 1 / 9 5 6