

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7568639号
(P7568639)

(45)発行日 令和6年10月16日(2024.10.16)

(24)登録日 令和6年10月7日(2024.10.7)

(51)国際特許分類		F I	
G 0 2 B	7/36 (2021.01)	G 0 2 B	7/36
G 0 2 B	21/26 (2006.01)	G 0 2 B	21/26
G 0 2 B	7/28 (2021.01)	G 0 2 B	7/28 J
G 0 3 B	13/36 (2021.01)	G 0 2 B	7/28 M
G 0 3 F	9/02 (2006.01)	G 0 3 B	13/36
請求項の数 11 (全35頁) 最終頁に続く			
(21)出願番号	特願2021-559244(P2021-559244)	(73)特許権者	500049141
(86)(22)出願日	令和2年4月3日(2020.4.3)		ケーエルエー コーポレーション
(65)公表番号	特表2022-527829(P2022-527829 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4年6月6日(2022.6.6)	(74)代理人	110001210
(86)国際出願番号	PCT/US2020/026487		弁理士法人Y K I 国際特許事務所
(87)国際公開番号	WO2020/206191	(72)発明者	リウ シウメイ
(87)国際公開日	令和2年10月8日(2020.10.8)		アメリカ合衆国 カリフォルニア フリーモント チルターン ドライブ 4 0 7 4 5
審査請求日	令和5年3月14日(2023.3.14)	(72)発明者	カオ カイ
(31)優先権主張番号	62/829,831		アメリカ合衆国 カリフォルニア フリーモント オカソ コルテ 4 3 5 0 3
(32)優先日	平成31年4月5日(2019.4.5)	(72)発明者	ウォーリングフォード リチャード
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		アメリカ合衆国 ミズーリ フォーサイスエルムウッド コート 1 5 0
(31)優先権主張番号	16/836,787		
(32)優先日	令和2年3月31日(2020.3.31)		
最終頁に続く		最終頁に続く	

(54)【発明の名称】 設定可能焦点オフセットによって試料表面を追跡するための自動焦点調節システム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

自動焦点調節システムであって、
照明源と、
開口と、
投影マスクと、
検出器アセンブリと、
中継システムであって、前記中継システムは、前記投影マスクを通して伝送された照明を撮像システムに光学的に結合するように構成され、前記中継システムは、1つ又は複数のパターンを前記投影マスクから前記撮像システムのステージアセンブリ上に配設された試料上に投影して、前記投影マスクの画像を前記試料から前記検出器アセンブリまで伝送するように構成されている、中継システムと、
1つ又は複数のプロセッサを含むコントローラであって、前記1つ又は複数のプロセッサは、メモリに記憶された1組のプログラム命令を実行するように構成され、前記プログラム命令は、前記1つ又は複数のプロセッサに、
前記投影マスクの1つ又は複数の画像を前記検出器アセンブリから受け取るステップ、
前記投影マスクの前記1つ又は複数の画像の品質を決定するステップ、
前記投影マスクの前記決定された画質に応じて、前記ステージアセンブリの鉛直位置を調節することで焦点を調節するステップ
を行わせるように構成されている、コントローラと、

を備え、

前記投影マスクは、グリッドマスクパターンであって前記試料が $x-y$ 平面に配設されている場合の x 軸に対して異なる角度で向いている一連のバイナリ正方形ボックスパターンを有する、システム。

【請求項 2】

前記 1 つ又は複数のプロセッサは、

1 つ又は複数の焦点測定基準を前記投影マスクの前記 1 つ又は複数の画像に適用することに基づいて、前記投影マスクの前記 1 つ又は複数の画像の画質を決定するように更に構成されている、請求項 1 に記載のシステム。

10

【請求項 3】

前記 1 つ又は複数の焦点測定基準は、

スルーフォーカス曲線 (TFC)

に基づく、請求項 2 に記載のシステム。

【請求項 4】

前記 1 つ又は複数のプロセッサは、

前記試料の鉛直位置をスルーフォーカス曲線 (TFC) のピーク位置に保持するために、前記撮像システムの前記ステージアセンブリの前記鉛直位置を調節するように更に構成されている、請求項 1 に記載のシステム。

20

【請求項 5】

前記検出器アセンブリは、

2 次元カメラ

を備える、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 6】

前記検出器アセンブリは、

傾斜型 2 次元カメラ

を備える、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 7】

前記検出器アセンブリは、

2 次元カメラと、

透明平板であって、前記透明平板は、前記 2 次元カメラの前方に配設され、前記透明平板にわたって変化する厚さを有する、透明平板と、
を備える、請求項 1 に記載のシステム。

30

【請求項 8】

1 つ又は複数の光学要素を更に備え、前記 1 つ又は複数の光学要素は、1 つ又は複数のレンズ、1 つ又は複数のミラー、又は 1 つ又は複数のビームスプリッタのうちの少なくとも 1 つを備える、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 9】

前記撮像システムは、検査システム、又は撮像式計測システムのうちの少なくとも 1 つを備える、請求項 1 に記載のシステム。

40

【請求項 10】

前記試料は、半導体ウェーハを備える、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 11】

システムであって、

撮像システムと、

自動焦点調節システムであって、

照明源、

開口、

投影マスク、

検出器アセンブリ、及び

50

中継システムであって、前記中継システムは、前記自動焦点調節システムを前記撮像システムに光学的に結合するように構成され、前記中継システムは、1つ又は複数のパターンを前記投影マスクからステージアセンブリ上に配設された試料上に投影して、前記投影マスクの画像を前記試料から戻して前記自動焦点調節システムの前記検出器アセンブリまで伝送するように構成されている、中継システム

を備える自動焦点調節システムと、

1つ又は複数のプロセッサを含むコントローラであって、前記1つ又は複数のプロセッサは、メモリに記憶された1組のプログラム命令を実行するように構成され、前記プログラム命令は、前記1つ又は複数のプロセッサに、

前記投影マスクの1つ又は複数の画像を前記検出器アセンブリから受け取るステップ、

前記投影マスクの前記1つ又は複数の画像の品質を決定するステップ、

前記投影マスクの前記決定された画質に応じて、前記ステージアセンブリの鉛直位置を調節することで焦点を調節するステップ

を行わせるように構成されている、コントローラと、

を備え、

前記投影マスクは、グリッドマスクパターンであって前記試料が $x-y$ 平面に配設されている場合の x 軸に対して異なる角度で向いている一連のバイナリ正方形ボックスパターンを有する、システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、概して光学撮像システムの分野に関し、より具体的には、設定可能な焦点オフセットによって試料表面を追跡するための自動焦点調節システムに関する。

【背景技術】

【0002】

関連出願の相互参照

本出願は、発明者の氏名がXiumei Liu、Kai Cao、Richard Wallingford、Matthew Giusti、及びBrooke Bruguiereであり、2019年4月5日に出願された、発明の名称が「AUTOMATED FOCUSING SYSTEM TRACKING SPECIMEN SURFACE WITH CONFIGURABLE FOCUS OFFSET」である米国仮特許出願第62/829,831号の優先権を主張し、この出願は、全体として参照することにより本明細書に取り込まれる。

【0003】

ずっと小さい設置面積及び特徴を有する電子論理及びメモリデバイスに対する需要が、望ましいスケールでの製造を越えた広範囲にわたる製造課題を提示する。半導体製造に関連して、欠陥のタイプ及びサイズを正確に識別することが、処理能力及び歩留を改善する際の重要なステップである。更に、最良の撮像品質及び欠陥検出感度を達成するために、撮像システムの焦点平面が保持されなければならない。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】米国特許第5604344号

【文献】米国特許出願公開第2013/0093874号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

そのため、上記の従来手法の欠点のうちの1つ又は複数のものを改善するシステムを提供することが望ましいであろう。

【課題を解決するための手段】

【0006】

自動焦点調節システムが開示される。一実施形態では、システムは照明源を含む。別の一実施形態では、システムは開口を含む。別の一実施形態では、システムは投影マスクを含む。別の一実施形態では、システムは検出器アセンブリを含む。別の一実施形態では、システムは、中継システムを含み、中継システムは、投影マスクを通して伝送された照明を撮像システムに光学的に結合するように構成され、中継システムは、1つ又は複数のパターンを投影マスクから撮像システムのステージアセンブリ上に配設された試料上に投影して、投影マスクの画像を試料から検出器アセンブリまで伝送するように構成されている。別の一実施形態では、システムは、1つ又は複数のプロセッサを含むコントローラを含み、1つ又は複数のプロセッサは、メモリに記憶された1組のプログラム命令を実行するように構成され、プログラム命令は、1つ又は複数のプロセッサに、投影マスクの1つ又は複数の画像を検出器アセンブリから受け取るステップと、投影マスクの1つ又は複数の画像の品質を決定するステップと、を行わせるように構成されている。

10

【0007】

システムが開示される。一実施形態では、システムは撮像システムを含む。別の一実施形態では、システムは、自動焦点調節システムを含む。別の一実施形態では、自動焦点調節システムは、照明源を含む。別の一実施形態では、自動焦点調節システムは、開口を含む。別の一実施形態では、自動焦点調節システムは、投影マスクを含む。別の一実施形態では、自動焦点調節システムは、検出器アセンブリを含む。別の一実施形態では、自動焦点調節システムは、中継システムを含み、中継システムは、投影マスクを通して伝送された照明を撮像システムに光学的に結合するように構成され、中継システムは、1つ又は複数のパターンを投影マスクから撮像システムのステージアセンブリ上に配設された試料上に投影して、投影マスクの画像を試料から検出器アセンブリまで伝送するように構成されている。別の一実施形態では、システムは、1つ又は複数のプロセッサを含むコントローラを含み、1つ又は複数のプロセッサは、メモリに記憶された1組のプログラム命令を実行するように構成され、プログラム命令は、1つ又は複数のプロセッサに、1つ又は複数の投影マスクの画像を検出器アセンブリから受け取るステップと、投影マスクの1つ又は複数の画像の品質を決定するステップと、を行わせるように構成されている。

20

【0008】

自動焦点調節システムが開示される。一実施形態では、自動焦点調節システムは、投影マスク画質(PMIQ)自動焦点調節システムを含む。別の一実施形態では、PMIQ自動焦点調節システムは、照明源を含む。別の一実施形態では、PMIQ自動焦点調節システムは、第1開口を含む。別の一実施形態では、PMIQ自動焦点調節システムは、第1投影マスクを含む。別の一実施形態では、PMIQ自動焦点調節システムは、第1PMIQ検出器アセンブリと、第2PMIQ検出器アセンブリと、を含む。別の一実施形態では、システムは、正規化s曲線(NSC)自動焦点調節システムを含む。別の一実施形態では、NSC自動焦点調節システムは、照明源を含む。別の一実施形態では、NSC自動焦点調節システムは、第2開口を含む。別の一実施形態では、NSC自動焦点調節システムは、第2投影マスクを含む。別の一実施形態では、NSC自動焦点調節システムは、第1NSC検出器アセンブリと、第2NSC検出器アセンブリと、を含む。別の一実施形態では、システムは、中継システムを含み、中継システムは、照明をPMIQ自動焦点調節システム及びNSC自動焦点調節システムから撮像システムに光学的に結合するように構成され、中継システムは、1つ又は複数のパターンを第1投影マスクから撮像システムのステージアセンブリ上に配設された試料上に投影して、第1投影マスクの画像を試料から第1PMIQ検出器アセンブリ及び第2PMIQ検出器アセンブリまで伝送するように構成され、中継システムは、1つ又は複数のパターンを第2投影マスクから撮像システムのステージアセンブリ上に配設された試料上に投影して、第2投影マスクの画像を試料から第1NSC検出器アセンブリ及び第2NSC検出器アセンブリまで伝送するように構成されている。別の一実施形態では、システムは、1つ又は複数のプロセッサを含むコントローラを含み、1つ又は複数のプロセッサは、メモリに記憶された1組のプログラム命令を実

30

40

50

行するように構成され、プログラム命令は、1つ又は複数のプロセッサに、1つ又は複数の信号を第1PMIQ検出器アセンブリ、第2PMIQ検出器アセンブリ、第1NSC検出器アセンブリ、及び第2NSC検出器アセンブリから受け取るステップと、ステージアセンブリを調節して撮像システムの焦点を保持するために、第1PMIQ検出器アセンブリ、第2PMIQ検出器アセンブリ、第1NSC検出器アセンブリ、及び第2NSC検出器アセンブリからの1つ又は複数の信号に基づいてデュアル制御ループを実行するステップと、を行わせるように構成されている。

【0009】

自動焦点調節システムが開示される。一実施形態では、自動焦点調節システムは、PMIQ自動焦点調節システムを含む。別の一実施形態では、PMIQ自動焦点調節システムは、照明源を含む。別の一実施形態では、PMIQ自動焦点調節システムは、第1開口を含む。別の一実施形態では、PMIQ自動焦点調節システムは、第1投影マスクを含む。別の一実施形態では、PMIQ自動焦点調節システムは、第1PMIQ検出器アセンブリを含む。別の一実施形態では、システムは、NSC自動焦点調節システムを含む。別の一実施形態では、NSC自動焦点調節システムは、照明源を含む。別の一実施形態では、NSC自動焦点調節システムは、第2開口を含む。別の一実施形態では、NSC自動焦点調節システムは、第2投影マスクを含む。別の一実施形態では、NSC自動焦点調節システムは、第1NSC検出器アセンブリを含む。別の一実施形態では、システムは、中継システムを含み、中継システムは、照明をPMIQ自動焦点調節システム及びNSC自動焦点調節システムから撮像システムに光学的に結合するように構成され、中継システムは、1つ又は複数のパターンを第1投影マスクから撮像システムのステージアセンブリ上に配設された試料上に投影して、第1投影マスクの画像を試料から第1PMIQ検出器アセンブリまで伝送するように構成され、中継システムは、1つ又は複数のパターンを第2投影マスクから撮像システムのステージアセンブリ上に配設された試料上に投影して、第2投影マスクの画像を試料から第1NSC検出器アセンブリまで伝送するように構成されている。別の一実施形態では、システムは、1つ又は複数のプロセッサを含むコントローラを含み、1つ又は複数のプロセッサは、メモリに記憶された1組のプログラム命令を実行するように構成され、プログラム命令は、1つ又は複数のプロセッサに、1つ又は複数の信号を第1PMIQ検出器アセンブリ及び第1NSC検出器アセンブリから受け取るステップと、デジタルバイナリリターンマスクを第1NSC検出器アセンブリからの1つ又は複数の信号に適用するステップと、ステージアセンブリを調節して撮像システムの焦点を保持するために、第1PMIQ検出器アセンブリ、第1NSC検出器アセンブリ、及びデジタルバイナリリターンマスクの出力からの1つ又は複数の信号に基づいてデュアル制御ループを実行するステップと、を行わせるように構成されている。

【0010】

自動焦点調節システムが開示される。一実施形態では、自動焦点調節システムは、PMIQ自動焦点調節システムを含む。別の一実施形態では、PMIQ自動焦点調節システムは、照明源を含む。別の一実施形態では、PMIQ自動焦点調節システムは、第1開口を含む。別の一実施形態では、PMIQ自動焦点調節システムは、傾斜型第1投影マスクを含む。別の一実施形態では、システムは、NSC自動焦点調節システムを含む。別の一実施形態では、NSC自動焦点調節システムは、照明源を含む。別の一実施形態では、NSC自動焦点調節システムは、第2開口を含む。別の一実施形態では、NSC自動焦点調節システムは、第2投影マスクを含む。別の一実施形態では、システムは、検出器アセンブリを含む。別の一実施形態では、システムは、中継システムを含み、中継システムは、照明をPMIQ自動焦点調節システム及びNSC自動焦点調節システムから撮像システムに光学的に結合するように構成され、中継システムは、1つ又は複数のパターンを第1投影マスクから撮像システムのステージアセンブリ上に配設された試料上に投影して、第1投影マスクの画像を試料から検出器アセンブリまで伝送するように構成され、中継システムは、1つ又は複数のパターンを第2投影マスクから撮像システムのステージアセンブリ上に配設された試料上に投影して、第2投影マスクの画像を試料から検出器アセンブリまで

伝送するように構成されている。別の一実施形態では、システムは、1つ又は複数のプロセッサを含むコントローラを含み、1つ又は複数のプロセッサは、メモリに記憶された1組のプログラム命令を実行するように構成され、プログラム命令は、1つ又は複数のプロセッサに、1つ又は複数の信号を検出器アセンブリから受け取るステップと、デジタルバイナリリターンマスクを検出器アセンブリからの1つ又は複数の信号に適用するステップと、ステージアセンブリを調節して撮像システムの焦点を保持するために、検出器アセンブリからの1つ又は複数の信号及びデジタルバイナリリターンマスクの出力に基づいてデュアル制御ループを実行するステップと、を行わせるように構成されている。

【0011】

自動焦点調節システムが開示される。一実施形態では、自動焦点調節システムは、PMIQ自動焦点調節システムを含む。別の一実施形態では、PMIQ自動焦点調節システムは、照明源を含む。別の一実施形態では、PMIQ自動焦点調節システムは、第1開口を含む。別の一実施形態では、PMIQ自動焦点調節システムは、第1投影マスクを含む。別の一実施形態では、PMIQ自動焦点調節システムは、1つ又は複数のPMIQ検出器アセンブリを含む。別の一実施形態では、システムは、NSC自動焦点調節システムを含む。別の一実施形態では、NSC自動焦点調節システムは、照明源を含む。別の一実施形態では、NSC自動焦点調節システムは、第2開口を含む。別の一実施形態では、NSC自動焦点調節システムは、第2投影マスクを含む。別の一実施形態では、NSC自動焦点調節システムは、1つ又は複数のNSC検出器アセンブリを含む。別の一実施形態では、システムは、中継システムを含み、中継システムは、照明をPMIQ自動焦点調節システム及びNSC自動焦点調節システムから撮像システムに光学的に結合するように構成され、中継システムは、1つ又は複数のパターンを第1投影マスクから撮像システムのステージアセンブリ上に配設された試料上に投影して、第1投影マスクの画像を試料から1つ又は複数のPMIQ検出器アセンブリまで伝送するように構成され、中継システムは、1つ又は複数のパターンを第2投影マスクから撮像システムのステージアセンブリ上に配設された試料上に投影して、第2投影マスクの画像を試料から1つ又は複数のNSC検出器アセンブリまで伝送するように構成されている。別の一実施形態では、システムは、1つ又は複数のプロセッサを含むコントローラを含み、1つ又は複数のプロセッサは、メモリに記憶された1組のプログラム命令を実行するように構成され、プログラム命令は、1つ又は複数のプロセッサに、1つ又は複数の信号を1つ又は複数のPMIQ検出器アセンブリ及び1つ又は複数のNSC検出器アセンブリから受け取るステップと、1つ又は複数のPMIQ検出器アセンブリ又は1つ又は複数のNSC検出器アセンブリのうちの少なくとも1つからの1つ又は複数の信号に基づいて、焦点誤差マップを生成するステップと、を行わせるように構成されている。

【0012】

理解すべきは、上記の概要及び以下の詳細な説明は、例示的で説明のためのものであり、必ずしも請求されるように本発明を限定するわけではない。明細書の一部内に組み込まれ、それを構成する添付図面は、本発明の実施形態を示し、概要と共に発明の原理を説明するのに役立つ。

【図面の簡単な説明】

【0013】

本開示についての多数の長所は、以下の添付図面への参照によって当業者によりよく理解される場合がある。

【0014】

【図1】本開示の1つ又は複数の実施形態に従う、従来の自動焦点調節（AF）システムの簡略図である。

【図2A】本開示の1つ又は複数の実施形態に従う、AFシステムからの複数のs曲線を含むプロットである。

【図2B】本開示の1つ又は複数の実施形態に従う、正規化s曲線（NSC）プロットである。

10

20

30

40

50

【図 3】本開示の 1 つ又は複数の実施形態に従う、試料のチャネル孔の断面図の比較である。

【図 4】本開示の 1 つ又は複数の実施形態に従う、パターン幾何構造について図 1 に示す A F システムの感度の平面図である。

【図 5】本開示の 1 つ又は複数の実施形態に従う、歪んだ s 曲線及び対称 s 曲線を含むプロットである。

【図 6】本開示の 1 つ又は複数の実施形態に従う、図 1 に示す A F システムに結合された撮像システムによって取得された試料欠陥マップである。

【図 7】本開示の 1 つ又は複数の実施形態に従う、曲がった非対称 s 曲線及び対称 s 曲線を含むプロットである。

10

【図 8 A】本開示の 1 つ又は複数の実施形態に従う、A F システムの簡略図である。

【図 8 B】本開示の 1 つ又は複数の実施形態に従う、A F システムの A F 光パターンを示す図である。

【図 8 C】本開示の 1 つ又は複数の実施形態に従う、A F システムのスルーフォーカス曲線 (T F C) を示す図である。

【図 8 D】本開示の 1 つ又は複数の実施形態に従う、A F システムの焦点制御ループを表すプロセスフロー図である。

【図 8 E】本開示の 1 つ又は複数の実施形態に従う、A F システムの追加の／代替の実施形態を示す図である。

【図 8 F】本開示の 1 つ又は複数の実施形態に従う、A F システムの追加の／代替の実施形態を示す図である。

20

【図 9 A】本開示の 1 つ又は複数の実施形態に従う、A F システムの簡略図である。

【図 9 B】本開示の 1 つ又は複数の実施形態に従う、A F システムの視野を示す図である。

【図 9 C】本開示の 1 つ又は複数の実施形態に従う、A F システムの追加の／代替の実施形態を示す図である。

【図 9 D】本開示の 1 つ又は複数の実施形態に従う、A F システムの簡略図である。

【図 9 E】本開示の 1 つ又は複数の実施形態に従う、A F システムのデュアル制御ループを表すプロセスフロー図である。

【図 9 F】本開示の 1 つ又は複数の実施形態に従う、試料の上面からのオフセットを含むプロットである。

30

【図 10】本開示の 1 つ又は複数の実施形態に従う、s 曲線を示す図である。

【図 11】本開示の 1 つ又は複数の実施形態に従う、A F システムの追加の／代替の実施形態を示す図である。

【図 12】本開示の 1 つ又は複数の実施形態に従う、A F システムの簡略図である。

【図 13】本開示の 1 つ又は複数の実施形態に従う、A F システムの簡略図である。

【図 14】本開示の 1 つ又は複数の実施形態に従う、例示的な投影マスクパターンを示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

本開示は、特定の実施形態及びその具体的な特徴に関して特に示され説明されてきた。本明細書に記述された実施形態は、限定ではなく例示的であると考えられる。形式及び細部における様々な変更及び修正が、本開示の趣旨及び範囲から逸脱することなく成されてもよいことが、当業者に直ちに明らかになるはずである。

40

【0016】

ここで、開示された主題に詳細な言及がなされ、該主題は添付図面内に示されている。

【0017】

図 1 は、本開示の 1 つ又は複数の実施形態に従う、撮像システム 130 に結合された従来の自動焦点調節 (A F) システム 100 についての簡略図を示す。一実施形態では、A F システム 100 は、中継システム 115 を介して撮像システム 130 に結合されている。

【0018】

50

一実施形態では、AFシステム100は、照明101を発生するように構成された照明源102を含む。照明源102は、照明101を発生するための当該技術分野で公知のいずれかの照明源を含んでもよく、該照明源は、広帯域放射線源、狭帯域放射線源等を含むが、これに限定されない。

【0019】

別の一実施形態では、AFシステム100は、開口104を含む。例えば、AFシステム100は、瞳孔開口104を含んでもよい。開口は、当該技術分野で公知のいずれかの開口数値を有してもよい。例えば、瞳孔開口104は、0.9NAの開口数を有してもよい。

【0020】

別の一実施形態では、AFシステム100は、幾何学パターン105を投影するように構成された投影マスク106を含む。

【0021】

中継システム115は、照明を中継するための当該技術分野で公知のいずれかの1組の光学要素を含んでもよい。例えば、中継システム115は、焦点調節レンズ114を含んでもよく、これに限定されない。例えば、焦点調節レンズ114は、z調節可能焦点調節レンズ114を含んでもよい。

【0022】

別の一実施形態では、AFシステム100は、1つ又は複数の組のセンサ116を含む。例えば、AFシステム100は、第1組のセンサ116aと、第2組のセンサ116bと、を含んでもよい。例えば、第1組のセンサ116aは、1組の焦点センサ116aであってもよく、第2組のセンサ116bは、1組の法線センサ116bであってもよい。

【0023】

別の一実施形態では、AFシステム100は、リターンマスク118を含む。

【0024】

AFシステム100は、当該技術分野で公知の光学要素108を含んでもよい。例えば、1つ又は複数の光学要素108は、1つ又は複数のミラー110、1つ又は複数のビームスプリッタ112a、112b等を含んでもよいが、これに限定されない。それに加えて、AFシステム100は、当該技術分野で公知のいずれかの追加の光学要素を含んでもよく、該光学要素は、1つ又は複数のミラー、1つ又は複数のレンズ、1つ又は複数の偏光器、1つ又は複数のビームスプリッタ、1つ又は複数の波長板等を含んでもよいが、これに限定されない。

【0025】

撮像システム130は、1つ又は複数の光学要素132を含んでもよく、該光学要素は、1つ又は複数のミラー134、1つ又は複数の対物レンズ136等を含むが、これに限定されない。ここで留意するのは、1つ又は複数の光学要素132が、当該技術分野で公知のいずれかの光学要素を含んでもよく、該光学要素は、1つ又は複数のミラー、1つ又は複数のレンズ、1つ又は複数の偏光器、1つ又は複数のビームスプリッタ、1つ又は複数の波長板等を含むが、これに限定されないことである。

【0026】

別の一実施形態では、撮像システム130は、照明源102又は別個の独立した光源（図1に図示せず）を介して試料140から照明を取得するように構成された1つ又は複数の検出器138を含む。

【0027】

試料140は、ウェーハ、レクチル、フォトマスク等を含むがこれに限定されない当該技術分野で公知のいずれかの試料か、組織、臓器模型等であってこれに限定されない生体試料、或いは1つ又は複数の湾曲ガラス板（又は厚板）、1つ又は複数の非湾曲ガラス板（又は厚板）等であってこれに限定されない非生体試料を含んでもよい。一実施形態では、試料140がステージアセンブリ142上に配置されて、試料140の動作を容易にする。別の一実施形態では、ステージアセンブリ142は、作動可能なステージである。例

10

20

30

40

50

えば、ステージアセンブリ 142 は、1 つ又は複数の直線方向（例えば、x 方向、y 方向、及び／又は z 方向）に沿って試料 140 を選択的に並進させるのに適した 1 つ又は複数の並進ステージを含んでもよいが、これに限定されない。別の一例として、ステージアセンブリ 142 は、試料 140 を回転方向に沿って選択的に回転させるのに適した 1 つ又は複数の回転ステージを含んでもよいが、これに限定されない。別の一例として、ステージアセンブリ 142 は、選択的に、直線方向に沿って試料 140 を並進させる及び／又は回転方向に沿って試料 140 を回転させるのに適した回転ステージ及び並進ステージを含んでもよいが、これに限定されない。

【0028】

自動焦点調節システムについての記載が、「AUTOMATIC FOCUSING SYSTEM FOR A MICROSCOPE」という名称の、1987 年 1 月 27 日に発行された米国特許第 4,639,587 号において論じられ、その内容は、全体として参照によって本明細書に組み込まれる。

【0029】

図 2A は、本開示の 1 つ又は複数の実施形態に従う、AF システム 100 からの複数の s 曲線を含むプロット 200 を示す。図 2B は、本開示の 1 つ又は複数の実施形態に従う、図 2A に示す複数の s 曲線についての正規化 s 曲線のプロット 220 を示す。

【0030】

一実施形態では、AF システム 100 は、複数の s 曲線を生成するように構成されている。例えば、図 2A に示すように、複数の s 曲線は、法線チャンネル A 曲線 202 と、法線チャンネル B 曲線 204 と、焦点チャンネル A 曲線 206 と、焦点チャンネル B 曲線 208 と、正規化 s 曲線（NSC）212 と、を含んでもよい。

【0031】

図 2A に示すように、線形範囲は、曲線 202 の勾配 210 を用いて決定されてもよい。

【0032】

プロット 220 において、正規化 s 曲線（NSC）222 が、次式で表されて記載される。

【数 1】

$$NSC = \frac{Fa}{Na} - \frac{Fb}{Nb}$$

【0033】

式 1 において、 F_a は、チャンネル A について焦点信号を表し、 F_b は、チャンネル B について焦点信号を表し、 N_a は、チャンネル A について法線信号を表し、 N_b は、チャンネル B について法線信号を表す。例えば、1 つ又は複数の法線信号（ N_a 、 N_b ）は、法線センサから取得されてもよい。別の一例として、1 つ又は複数の焦点信号は、焦点センサから取得されてもよい。

【0034】

ここで留意されるのは、制御システムは、z ステージを $NSC = 0$ として設定するような方法で設計されてもよいことである。しかし、z 軸線調節による焦点調節レンズ（例えば、焦点調節レンズ 114）は、試料の z 平面のユーザ設定可能な焦点オフセットを調節するのに必要である。

【0035】

図 3 は、本開示の 1 つ又は複数の実施形態に従う、試料積層体を通る、望ましいチャンネル孔と歪んだチャンネル孔との比較 300 である。

【0036】

チャンネル孔エッチング処理ステップ中に、望ましいチャンネル孔（例えば、チャンネル孔 302）は、試料積層体（図 3 に示すような）を通る円柱形であるはずである。AF システム 100 は、試料が試料表面全体にわたって一様で真直ぐなチャンネル孔 302 を有するな

10

20

30

40

50

らば、焦点を望ましい焦点オフセットに保持してもよい。しかし、ここで留意されるのは、試料の1つ又は複数の処理変動が、AFシステム100に試料表面を上及び／又は下にシフトさせる場合があることである。図3に示すように、このシフトは、テーパ状のチャネル孔304によって生じさせられる。

【0037】

ここで留意されるのは、プロセス変動は、試料の特定領域にテーパ状チャネル孔304（例えば、チャネル孔サイズの変動）を有するようにさせてもよいことである。試料の物理的厚さが同じであるけれども、AFシステム100は、処理変動の強さに依存して、高性能撮像システムの最良焦点平面内で及び／又はそれから外に試料表面をシフトさせることがある。それで、表面欠陥検出感度の損失を生じさせる。

10

【0038】

図4は、本開示の1つ又は複数の実施形態に従う、試料の幾何構造をパターン化するためのAFシステム100の感度400についての平面図である。

【0039】

ここで留意されるのは、試料上の非パターン化領域は、試料焦点を試料上のパターン化領域に対してシフトさせる場合があることである。焦点シフトの量は、非パターン化領域の幅に依存している。

【0040】

図4に示すように、AFシステム100は、試料パターン幾何構造を感知する。例えば、非パターン化領域402がチャネル孔被エッチング配列404内に存在することは、たとえ非パターン化領域が被エッチング配列と同じ物理的高さを有したとしても、焦点をシフトさせることがある（例えば、領域406がシフトされる）。例えば、5～30µmの間の幅を有する非パターン化領域について、焦点は、パターンの輝度及び幅に基づいて100～400nmの間でシフトすることがある。

20

【0041】

ここで留意されるのは、非パターン化領域に起因する焦点シフト、及びプロセス変動に起因する上及び／又は下への試料のシフトは、試料の表面全体にわたって欠陥検出感度の不整合及び損失を生じさせることである。

【0042】

図5は、本開示の1つ又は複数の実施形態に従う、歪んだs曲線502及び対称性s曲線504を含むプロット500である。

30

【0043】

ここで留意されるのは、AFシステム100についての1つの重大問題が、試料（例えば、従来のAF設定を有する3DNANDウェーハ）における焦点の喪失であることである。図5に示すように、これは、AF光が試料表面下方に浸透するときに、高度のs曲線線形範囲縮小を生成する回折を生じる試料パターンに起因する。

【0044】

図5に示すように、AF光が3DNANDウェーハ表面下方に浸透するとき、3DNANDウェーハs曲線502が歪む。それと比較して、回折を生じる試料パターン形成を有しない鏡面は、AF光が試料表面下方に浸透するとき、対称性s曲線504を呈する。

40

【0045】

図6は、本開示の1つ又は複数の実施形態に従う、AFシステム100に結合された撮像システム150によって取得された試料欠陥マップ600を示す。

【0046】

試料マップ600において、それぞれのドットは、1つの検出された欠陥に対応する。図6に示すように、試料マップ600の底部602は、ゼロ個のドットを含み、すなわち、欠陥が試料の底部で検出されなかったことを意味する。これは、AFシステム100内での焦点の喪失に起因する。ここで留意されるのは、最大約30µmであることがある背の高い試料積層体の一番底部の欠陥を検査するためには、AFシステム内の焦点調節レンズが、高分解能によって80mmのz軸線調節範囲をサポートする必要があることである

50

。これは、技術設計に対して非常に困難であることがある。更に、s 曲線は、過剰な球面収差に起因する大きい焦点オフセットにおいて曲げられることになる。

【0047】

図7は、本開示の1つ又は複数の実施形態に従う、曲がった非対称性s曲線700、及び対称性s曲線702を含むプロットを示す。

【0048】

ここで留意されるのは、試料が上に動かされる時、曲がった非対称性s曲線が、その結果であることである。図7に示すように、試料がz軸に沿って10 μ mだけ上に動かされるとき、曲がった非対称性s曲線700が、過剰な球面収差に起因してもたらされる。それと比較して、試料焦点オフセットがゼロのとき、対称性s曲線702がもたらされる。

10

【0049】

自動焦点調節(AF)システムは、光学式撮像システムについてのピーク欠陥検出感度を達成することを助けてきた。これらの光学式AFシステムは、非光学システムを上回る長所を有する。例えば、光学式AFシステムは、高速信号応答及び高感度を有する。しかし、AFシステム100のような光学式AFシステムは、いくつかの短所を有する。例えば、試料は、厚く透明(又は半透明)であることにより、光が最上面下方に伝播してもよい。最上面と底面とから返されたAF光を区別することを非常に困難にするのは、特に、試料が選択距離だけ離れている(例えば約10nm $\sim$ μ m離れている)2つ又は多数の表面を有するときである。

【0050】

20

更に、光学式AFシステムが、撮像システムの最良焦点平面の焦点を1つの焦点深度(DOF)内の試料の最上面上に保持することは、非常に魅力的であることがある。試料自体は、異なる場所(例えば、x軸及びy軸)において異なる屈折率、すなわちリターンモジュールにおいてはAF信号強度を有することがある。このことは、DOFが非常に短いとき、更により魅力的になる。例えば、DOFは、200nmの波長を有する0.9の開口数(NA)で動作する撮像システムについて約100nmであってもよい。

【0051】

完全自動化撮像システムについて、最良の焦点平面が、典型的に試料表面上のユーザ設定可能な焦点オフセットに保持されることにより、最良の画質、したがって最良の検出感度を達成するはずである。自動化焦点調節システムは、高性能撮像システムと一体化されて、かかる目的を達成してもよい。

30

【0052】

AFシステム100の欠点に基づいて、本開示の実施形態は、設定可能な焦点オフセットによって試料表面を追跡するための自動焦点調節(AF)システムを目的とする。特に、本開示の実施形態は、高性能撮像システムと一体化されることにより、最良の画質及び最良の検出感度を達成するAFシステムを目的とする。

【0053】

図8Aは、本開示の1つ又は複数の実施形態に従う、撮像システム830に結合されたAFシステム800についての簡略図である。一実施形態では、AFシステム800は、中継システム810を介して撮像システム830に光学的に結合されている。

40

【0054】

一実施形態では、AFシステム800は、照明801を発生するように構成された照明源802を含む。照明源802は、照明801を発生するための当該技術分野で公知のいずれかの照明源を含んでもよく、該照明源は、広帯域放射線源、狭帯域放射線源等を含むが、これに限定されない。

【0055】

別の一実施形態では、AFシステム800は、開口804を含む。例えば、AFシステム800は、瞳孔開口804を含んでもよい。開口は、当該技術分野で公知のいずれかの形状又は開口数値を有してもよい。例えば、瞳孔開口804は、0.9NAの開口数を有してもよい。

50

【0056】

別の一実施形態では、AFシステム800は、幾何学パターン808を試料840上に投影するように構成された投影マスク806を含む。例えば、投影マスク806は、(図14に表し、本明細書で更に論じるような)1つ又は複数の選択されたパターンを含む外部投影マスクを含んでもよく、該選択されたパターンは、中継システム810及び撮像システム830を介して試料840の平面上に投影されてもよい。ここで留意されるのは、幾何学パターン808は、当該技術分野で公知のいずれかの方法を介して生成されてもよいことである。例えば、幾何学パターン808は、単純なバイナリマスクであってもよい。別の一例として、幾何学パターン808は、空間光変調器によって生成されてもよい。更なる一例によって、幾何学パターン808は、光回折(又は干渉手段)によって生成されてもよい。

10

【0057】

中継システム810は、投影マスク画像819を第1光学システム及び第2光学システムから中継するための当該技術分野で公知のなんらかの組の光学要素を含んでもよい。例えば、中継システム810は、焦点調節レンズ812を含んでもよいが、これに限定されない。例えば、焦点調節レンズ812は、 z 調節可能焦点調節レンズ812を含んでもよい。

【0058】

別の一実施形態では、AFシステム800は、検出器アセンブリ814を含む。例えば、図8Aに示すように、検出器アセンブリ814は、1つ又は複数のカメラ814を含んでもよいが、これに限定されない。AFシステム800は、いずれかのタイプのカメラを含んでもよい。例えば、AFシステム800は、2次元(2D)カメラを含んでもよいが、これに限定されない。別の一例として、AFシステム800は、傾斜型2Dカメラを含んでもよいが、これに限定されない。更なる一例として、AFシステム800は、傾斜型投影マスクを含んでもよいが、これに限定されない。

20

【0059】

別の一実施形態では、検出器アセンブリ814は、コントローラ816に通信可能に結合されている。コントローラ816は、1つ又は複数のプロセッサ818を含んでもよい。1つ又は複数のプロセッサ818は、メモリ820に記憶された1組のプログラム命令を実行するように構成されている。1組のプログラム命令は、1つ又は複数のプロセッサ818に本開示の1つ又は複数のステップを実行させるように構成されている。一実施形態では、1つ又は複数のプロセッサ818は、1つ又は複数の投影マスク画像819をAFシステム800の検出器アセンブリ814から受け取るように構成されている。別の一実施形態では、1つ又は複数のプロセッサ818は、投影マスク画質(PMIQ)を決定するように構成されている。例えば、1つ又は複数のプロセッサ818は、1つ又は複数の焦点測定基準を適用してもよく、該焦点測定基準は、異なる目的又は用途に対して最適化されて、投影マスク画像819の画質を決定してもよい。

30

【0060】

別の一実施形態では、1つ又は複数のプロセッサ818は、投影マスク画質(PMIQ)に応じてステージアセンブリ842を調節してもよい。例えば、監視される投影マスク画質に応じて、1つ又は複数のプロセッサ818は、ステージアセンブリ842の垂直位置(すなわち、 z 位置)を動的に調節することにより、試料 z 位置が、最適な(又は少なくとも十分な)焦点位置に調節(又はそこに保持)されてもよい。

40

【0061】

AFシステム800は、AF及び撮像システムの動作、及びA及びFと撮像システムの間の結合を促進するための、当該技術分野で公知のいずれかの光学要素822を含んでもよい。例えば、1つ又は複数の光学要素822は、1つ又は複数のレンズ824、1つ又は複数のミラー826、あるいは1つ又は複数のビームスプリッタ828a、828bを含んでもよいが、これに限定されない。更に、示されないけれども、AFシステム800は、当該技術分野で公知のいずれかの追加の光学要素を含んでもよく、該光学要素は、1

50

つ又は複数の偏光器、1つ又は複数のビームスプリッタ、1つ又は複数の波長板等を含むが、これに限定されない。

【0062】

撮像システム830は、1つ又は複数の光学要素832を含んでもよく、該光学要素は、1つ又は複数のミラー834、1つ又は複数の対物レンズ836等を含むが、これに限定されない。別の一実施形態では、撮像システム830は、試料840から（例えば、反射された、回折された、又は散乱された）照明を取得するように構成された1つ又は複数の検出器838を含む。1つ又は複数の検出器838は、コントローラ816に通信可能に結合されてもよい。これに関して、コントローラ816の1つ又は複数のプロセッサ818は、撮像システム830の1つ又は複数の検出器838から信号及び／又は画像データを受け取ってもよい。撮像システム830は、当該技術分野で公知のいずれかの撮像システムを含んでもよい。例えば、撮像システムは、検査システム、画像式計測システム、機械視覚システム、又は生物学的／生医学的撮像システムを含んでもよい。

10

【0063】

試料840は、当該技術分野で公知のいずれかの試料を含んでもよく、該試料は、ウェーハ、レクチル、フォトマスク等を含むが、これに限定されない。一実施形態では、試料840がステージアセンブリ842上に配置されて、試料840の動作を容易にする。別の一実施形態では、ステージアセンブリ842は、作動可能なステージである。例えば、ステージアセンブリ842は、1つ又は複数の線形方向（例えば、x方向、y方向、及び／又はz方向）に沿って試料840を選択的に並進させるのに適した1つ又は複数の並進ステージを含んでもよいが、これに限定されない。別の一例として、ステージアセンブリ842は、回転方向に沿って試料840を選択的に回転させるのに適した1つ又は複数の回転ステージを含んでもよいが、これに限定されない。別の一例として、ステージアセンブリ842は、選択的に、線形方向に沿って試料840を並進させる及び／又は回転方向に沿って試料840を回転させていることに適した回転ステージ及び並進ステージを含んでもよいが、これに限定されない。

20

【0064】

図8Bは、本開示の1つ又は複数の実施形態に従う、図8Aに示すAFシステム800のAF光パターン850、852を示す。

【0065】

一実施形態では、試料の表面から反射されているAF光は、AF光パターン850を形成する。別の一実施形態では、試料内に浸透されているAF光は、AF光パターン852を形成する。ここで留意されるのは、AF光パターン850は、密に集束されたスポットが試料表面から反射されるとき、AFシステム800が最良のPMIQを有することを示すことである。更にここで留意されるのは、AF光パターン852の焦点拡張は、XYZ軸に沿って拡張することである。AF光パターン852は、密な焦点スポットがXYZ方向に拡張させられることがあることを示し、これは、試料内に浸透させられている光に起因して劣化させられた点像分布関数を意味する。

30

【0066】

ここで留意されるのは、試料に投影された、投影マスク（PM）からの投影マスク（PM）画像が、高開口数を有し、回折が撮像品質によって制限されるならば、試料反射PM画像は、それが最上面から反射されているときだけ最良の画質を有することである。図8Bに示すように、PMから試料までの光学システムの点像分布関数（PSF）と考えられてもよい高集束スポットについて、光が試料に浸透し、底面上の1つ又は複数の点から反射されるとき、試料厚さ及び材料屈折が、スポットサイズを横方向及び光軸の両方に沿って拡張させるようにする。このことは、ほぼ完全なPSFの収差をもたらす。それゆえに、PM撮像品質が劣化する。

40

【0067】

図8Cは、本開示の1つ又は複数の実施形態に従う、AFシステム800のスルーフォーカス曲線（TFC）860を示す。

50

【0068】

一実施形態では、AFシステム800の1つ又は複数のプロセッサ818は、1つ又は複数の焦点測定基準を投影マスク806の1つ又は複数の画像819に適用することに基づいて、投影マスク806の1つ又は複数の画像819の画質を決定するように構成されている。例えば、1つ又は複数のプロセッサ818は、スルーフォーカス曲線（例えば、TFC860）を投影マスク806の1つ又は複数の像819に適用するように構成されてもよい。ここで留意されるのは、試料840が上下に動くとき、PMIQは、異なる用途目的について調節されてもよい1つ又は複数の焦点測定基準（例えば、TFC860）によって定量的に測定されてもよいことである。図8Cに示すTFC860は、試料840（例えば、ミラー試料）において測定される5回の繰返しを含む。5回の繰返しのピークピーク変動は、約30nmである。

10

【0069】

図8Dは、本開示の1つ又は複数の実施形態に従う、AFシステム800の焦点制御ループ870を示す処理フロー図である。留意されるのは、PMIQについて本明細書で以前に説明された様々な実施形態、構成要素、及び動作についての説明は、特に明記しない限り、デュアル制御ループ870に拡張するように解釈されなければならないことである。更に留意されるのは、様々なステップ872～892は、図8Dに表され又はここで説明された特定の順序に限定されると解釈されるべきではないことである。むしろ、留意されるのは、制御ループ870は、制御ループ870内の任意の数の場所から開始してもよく、並びに任意の数のステップを迂回及び／又は繰り返してもよいことである。

20

【0070】

ステップ872において、焦点制御ループ870は、焦点目標を生成する。

【0071】

ステップ874において、焦点制御ループ870は、焦点目標を調節する。

【0072】

ステップ876において、焦点制御ループ870は、試料の高さを生成する。

【0073】

ステップ878において、焦点制御ループ870は、制御アルゴリズム（例えば、制御アルゴリズム1）を適用する。

【0074】

ステップ880において、焦点制御ループ870は、制御アルゴリズム（例えば、制御アルゴリズム1）の出力に基づいてステージアセンブリを調節する。例えば、システム800は、ステージアセンブリ842をz方向に調節するように構成されてもよい。

30

【0075】

ステップ882において、焦点制御ループ870は、1つ又は複数のPMIQ光学部品を用いて1つ又は複数の測定値を取得する。

【0076】

ステップ884において、焦点制御ループ870は、検出器アセンブリを介してPMIQ TFCを取得する。例えば、AFシステム800の検出器アセンブリ814は、PMIQ TFCを取得するように構成されてもよい。

40

【0077】

ステップ886において、焦点制御ループ870は、PMIQ TFCに基づいてデータを転送する。例えば、第2ループ962は、処理について選択された転送先にデータパスを介して選択されたデータを転送するように構成されてもよい。

【0078】

ステップ888において、焦点制御ループ870は、1つ又は複数のPM画像を処理して、焦点誤差及び記号を計算する。

【0079】

ステップ890において、焦点制御ループ870は、データをステージアセンブリに渡す。例えば、システム800は、データをステージアセンブリ842に渡すように構成さ

50

れてもよい。

【0080】

ステップ892において、焦点制御ループ870は、1つ又は複数の焦点誤差を生じさせる。例えば、焦点制御ループ870は、距離（例えば、数のナノメートル）としての焦点誤差表現を計算してもよい。

【0081】

ここで留意されるのは、制御システムは、試料z位置が、試料z位置をTFCのピーク位置に保持するために動的に調節されるような態様に設計されてもよいことである。

【0082】

図8Eは、本開示の1つ又は複数の追加／代替の実施形態に従う、AFシステム800を示す。この実施形態では、AFシステム800の検出器アセンブリ814は、焦点平面の内外で傾斜させられるように構成された1つ又は複数の傾斜型2Dカメラ896を含む。例えば、1つ又は複数の傾斜型2Dカメラ896は、rX方向（x軸周りの回転）又はrY方向（y軸周りの回転）のうちの少なくとも1つにおいて焦点平面の内外で傾斜させられてもよい。ここで留意されるのは、光軸がz軸として規定されてもよいことである。これに関して、試料840が自動化撮像のためにXY平面内で動いているときに、完全なTFCは、1つ又は複数の傾斜型2Dカメラ896によって取得されてもよい。更に、TFCのそれぞれの点は、1つ又は複数の傾斜型2Dカメラ上のそれぞれのXY場所における投影マスクの1つ又は複数の画像からマッピングされてもよい。更に、ここで留意されるのは、1つ又は複数の傾斜型2Dカメラ896は、試料840をz方向に連続的に動かすことなくTFCを取得するように構成されてもよいことである。

【0083】

図8Fは、本開示の1つ又は複数の追加／代替の実施形態に従う、AFシステム800を示す。この実施形態では、AFシステム800の検出器アセンブリ814は、1つ又は複数の2Dカメラ814と、1つ又は複数の透明平板898と、を含む。例えば、1つ又は複数の透明平板898は、1つ又は複数の2Dカメラ814の前方に配設されていてもよく、そして、1つ又は複数の透明平板898全体にわたって変化する厚さを有してもよい。ここで留意されるのは、1つ又は複数の透明平板898は、ガラス、石英等を含むが、これに限定されない材料において公知であるいずれかの透明材料から形成されてもよいことである。

【0084】

図9Aは、本開示の1つ又は複数の実施形態に従う、撮像システム930に結合されたAFシステム900についての簡略図を示す。特に、図9Aは、デュアルモード同時動作のために構成されたAFシステム900を示す。AFシステム900は、PMIQ投影システム903（又はPMIQモジュール）と、NSC投影システム905（又はNSCモジュール）と、を含んでもよい。別の一実施形態では、AFシステム900は、中継システム910を介して撮像システム930に結合される。これに関して、中継システム910は、PMIQ自動焦点調節システム及びNSC自動焦点調節システムから撮像システム930に照明を光学的に結合するように構成されている。

【0085】

この実施形態では、PMIQ投影システム903及びNSC投影システム905は、それぞれ、それら自体の照明源、開口、投影マスク、照度基準制御、及びNA設定を含んでもよい。例えば、PMIQ投影システム903は、第1照明源902aと、第1開口904aと、第1投影マスク906aと、を含んでもよいが、これに限定されない。NSC投影システム905は、第2照明源902bと、第2開口904bと、第2投影マスク906bと、を含んでもよいが、これに限定されない。

【0086】

一実施形態では、PMIQ自動焦点調節投影システム903の照明源902aは、連続したオン状態モードにおいて動作するように構成されている。別の一実施形態では、NSC自動焦点調節投影システム905の照明源902bは、第1照明チャンネル（チャンネルA

10

20

30

40

50

）と、第2照明チャネル（チャネルB）と、を含む。NSC自動焦点調節投影システム905の照明源902bの出力が時間多重化されて、第1照明チャネル（チャネルA）と第2照明チャネル（チャネルB）との間のクロストークを軽減してもよい。

【0087】

別の一実施形態では、第1投影マスク906a及び第2投影マスク906bは、第1投影マスク906aが、視野の第1半分内に投影され、第2投影マスク906bが、視野の第2半分内に投影されるように設置されている。これに関して、図9Bに示すように、システム900は、PMIQ投影システム903が、視野の第1半分（例えば、左側）を用い、NSC投影システム905が、視野の第2半分（例えば、右側）を用いるように構成されてもよい。かかる配列は、PMIQ自動焦点調節投影システム903とNSC自動焦点調節投影システム905との間の光学的クロストークを軽減することを助ける。例えば、図9Bに示すように、PMIQ投影システム903からの投影が、視野（FOV）の左側913aを占めてもよく、一方、NSC投影システム905からの投影が、FOVの右側913bを占めてもよい。

【0088】

別の一実施形態では、第1投影マスク906aと第2投影マスク906bとは、1つ又は複数の異なる特性を有してもよい。例えば、第1投影マスク906aと第2投影マスク906bとは、異なるグリッドマスクパターン、グリッドマスクピッチ、又はグリッドマスク方向を有してもよい。投影マスク906a、906bは、（図14に表し、本明細書で更に論じるように）1つ又は複数の選択されたパターンを含む1つ又は複数の外部投影マスクを含んでもよく、該パターンは、中継システム910及び撮像システム930を介して試料940の平面上に投影されてもよい。

【0089】

ここで留意されるのは、PMIQ投影システム905は、照明及び集光経路907、909の両方についての0.9NA設定によってそれぞれ動作してもよいことである。更に、NSC投影システム905は、照明及び集光経路907、909の両方で減少されたNAによってそれぞれ動作してもよい。例えば、NSC投影システム905は0.9NA未満のNAによって動作してもよい。例えば、NSC投影システム905は、0.4～0.6NAの間のNAによって動作してもよい。更に、NSC投影システムは、0.5NAのNAによって動作してもよい。しかし、ここで留意されるのは、NAについての設定は、用途に基づいて最適化されてもよいことである。

【0090】

別の一実施形態では、AFシステム900は、1つ又は複数のPMIQ検出器アセンブリを含む。例えば、図9Aに示すように、PMIQ投影システム903は、第1PMIQ検出器アセンブリ914aと、第2PMIQ検出器アセンブリ914bと、を含んでもよい。例えば、第1PMIQ検出器アセンブリ914a及び第2PMIQ検出器アセンブリ914bは、それぞれ、第1の2Dカメラ914a及び第2の2Dカメラ914bを含んでもよいが、これに限定されない。ここで留意するのは、1つ又は複数の2Dカメラ914は、TFC曲線上のいくつかの離散点を取得するためのzオフセットを予め決定してもよいことである。

【0091】

別の一実施形態では、AFシステム900は、1つ又は複数のNSC検出器アセンブリを含む。例えば、図9Aに示すように、NSC投影システム903は、第1検出器アセンブリ920aと、第2検出器アセンブリ920bと、を含んでもよい。例えば、NSC投影システム903は、第1センサ920aと、第2センサ920bと、を含んでもよい。第1センサ920aは、NSC投影システム905の1つ又は複数の照明チャネル（例えば、チャネルA及びチャネルB）から1つ又は複数の焦点信号（例えば、 F_a 、 F_b ）を受け取るように構成された1つ又は複数の焦点センサを含んでもよい。第2センサ920bは、NSC投影システム905の1つ又は複数の照明チャネル（例えば、チャネルA及びチャネルB）から1つ又は複数の法線信号（例えば、 N_a 、 N_b ）を受け取るように構

10

20

30

40

50

成された法線センサ 920b を含んでもよい。

【0092】

別の一実施形態では、AFシステム900は、1つ又は複数の集光瞳孔開口絞り918を含む。例えば、AFシステム900は、NSC投影システム905の第1センサ920a及び第2センサ920bにそれぞれ関連した第1集光瞳孔開口絞り918a及び第2集光瞳孔開口絞り918bを含んでもよい。例えば、第1集光瞳孔開口絞り918aは、第1開口数（例えば、0.5NA）を有してもよい。別の一例では、第2集光瞳孔開口絞り918bは、第2開口数（例えば、0.5NA）を有してもよい。ここで留意されるのは、1つ又は複数の集光瞳孔開口絞り918a、918bは、任意の開口数値を有してもよいことである。

10

【0093】

別の一実施形態では、AFシステム900は、リターンマスク916を含む。例えば、AFシステム900は、投影マスクと同じパターンを有するリターンマスク916を含んでもよい。別の一例として、AFシステム900は、投影マスクとは異なるパターンを有するリターンマスクを含んでもよい。ここで留意されるのは、リターンマスクは、焦点チャンネル内で用いられて、NSC投影システム905のための焦点信号を発生してもよいことである。リターンマスク916は、反射された投影マスク画像に対して光学バルブのように作用する。試料に焦点が合っているとき、焦点センサチャンネルAとBとは、同じ光量を受け取る。試料に焦点が合っていないとき、1つのチャンネルは、別のチャンネルよりも多い光を受け取り、その逆もまた同じである。デフォーカス指向性は、どのチャンネルがより多くの光を受け取ったかによって決定されてもよい。

20

【0094】

別の一実施形態では、1つ又は複数のPMIQ検出器アセンブリ914及び1つ又は複数のNSCセンサ920は、コントローラ921に通信可能に結合されている。コントローラ921は、1つ又は複数のプロセッサ925を含んでもよい。1つ又は複数のプロセッサ925は、メモリ927に記憶された1組のプログラム命令を実行するように構成されている。1組のプログラム命令は、1つ又は複数のプロセッサ925に、本開示の1つ又は複数のステップを実行させるように構成されている。一実施形態では、1つ又は複数のプロセッサ925は、第1PMIQ検出器アセンブリ914a、第2PMIQ検出器アセンブリ914b、第1NSC検出器アセンブリ920a、及び第2NSC検出器アセンブリ920bから1つ又は複数の信号を受け取るように構成されている。別の一実施形態では、1つ又は複数のプロセッサ925は、第1PMIQ検出器アセンブリ、第2PMIQ検出器アセンブリ、第1NSC検出器アセンブリ、及び第2NSC検出器アセンブリからの1つ又は複数の信号に基づいてデュアル制御ループを実行することにより、ステージアセンブリ942（例えば、z位置）を調節して撮像システム930の焦点を保持する（又は、確立する）ように構成されている。

30

【0095】

中継システム910は、照明を第1光学システム及び第2光学システムから中継するための当該技術分野で公知のいずれかの組の光学要素を含んでもよい。例えば、中継システム910は、焦点調節レンズ912を含んでもよいが、これに限定されない。例えば、焦点調節レンズ912は、z調節可能焦点調節レンズ912を含んでもよい。

40

【0096】

撮像システム930は、当該技術分野で公知のいずれかの撮像システムを含んでもよく、本明細書で以前に提供された撮像システム830についての説明は、撮像システム930に拡張するように解釈されなければならない。撮像システム930は、1つ又は複数の光学要素932を含んでもよく、該光学要素は、1つ又は複数のミラー934、1つ又は複数の対物レンズ936等を含むが、これに限定されない。別の一実施形態では、撮像システム930は、試料940から（例えば、反射された、回折された、又は散乱された）照明を取得するように構成された1つ又は複数の検出器を含む。1つ又は複数の検出器は、コントローラ921に通信可能に結合されてもよい。これに関して、コントローラの1

50

つ又は複数のプロセッサは、撮像システム 930 の 1 つ又は複数の検出器から信号及び／又は画像データを受け取ってもよい。撮像システム 930 は、当該技術分野で公知のいずれかの撮像システムを含んでもよい。例えば、撮像システムは、検査システム、画像式計測システム、機械視覚システム、又は生物学的／生医学的撮像システムを含んでもよい。

【0097】

試料 940 及びステージアセンブリ 942 は、当該技術分野で公知のいずれかの試料及びステージアセンブリを含んでもよく、試料 840 及び本明細書で以前に提供されたステージアセンブリ 842 についての説明は、試料 940 及びステージアセンブリ 942 に拡張するように解釈されなければならない。

【0098】

A F システム 900 は、A F 及び撮像システムの動作、並びに A F 及び撮像システムとの間の結合を促進するための当該技術分野で公知のいずれかの光学要素 922 を含んでもよい。例えば、1 つ又は複数の光学要素 922 は、1 つ又は複数のプリズムミラー 924（例えば、最上面反射又は内面反射）、1 つ又は複数のレンズ 926 a、926 b、並びに 1 つ又は複数のビームスプリッタ 928 a、928 b、及び／又は 928 c を含んでもよいが、これに限定されない。それに加えて、示されないけれども、A F システム 900 は、当該技術分野で公知のいずれかの追加の光学要素を含んでもよく、該光学要素は、1 つ又は複数の偏光器、1 つ又は複数のビームスプリッタ、1 つ又は複数のミラー、1 つ又は複数の波長板等を含むが、これに限定されない。

【0099】

図 9 C は、本開示の 1 つ又は複数の実施形態に従う、A F システム 900 の追加／代替の実施形態を示す。留意されるのは、システム 800 及び 900 の実施形態についての説明は、本明細書で特に明記しない限り、図 9 B に表された実施形態に拡張されなければならないことである。

【0100】

この実施形態では、A F システム 900 は、P M I Q カメラ 950 a と、N S C カメラ 950 b と、を含む。例えば、システム 900 は、P M I Q カメラとして構成された 2 D カメラ 950 a と、N S C の A F カメラとして構成された 2 D カメラ 950 b と、を含んでもよい。別の一実施形態では、A F システム 900 は、透過された全集積エネルギーを計算するための画像処理中に、デジタルバイナリリターンマスク 952 を適用してもよい。

【0101】

この実施形態では、P M I Q カメラ 950 a 及び N S C カメラ 950 b は、A F システム 900 のコントローラ 921 に通信可能に結合されてもよい。これに関して、N S C カメラ 950 b は、図 9 A の法線チャネルと焦点チャネルとを置換している。更に、コントローラ 921 の 1 つ又は複数のプロセッサ 925 は、N S C カメラ 950 b からのデータを用いて N S C を生成するように構成されてもよい。

【0102】

デジタルバイナリリターンマスク 952 は、F_a、F_b として N S C の A F カメラ 950 b の全視野（F O V）にわたる透過された全集積エネルギーをそれぞれ計算するように構成されてもよい。これに関して、N S C 信号は、単一のカメラ（例えば N S C カメラ 950 b）によって計算で生成されてもよい。ここで留意されるのは、この実施形態は、高精度光学部品の開発コストを低減し、光学欠陥から焦点検出アーチファクトを減少させてもよいことである。

【0103】

ここで留意されるのは、チャネル A 及び B を含む N S C 投影システム 905 の第 2 照明源 902 b は、時間系列内でオンにされるように構成されていることである。更に、本開示のために、チャネル A 及び／又は B の光がオンのとき、用語「N_a 信号」又は「N_b 信号」とは、A F カメラ 950 a の F O V 内の全集積エネルギーを指す。

【0104】

別の一実施形態では、N S C は、N S C カメラ 950 b の F O V 内の全集積エネルギーを

10

20

30

40

50

用いて計算されてもよい。例えば、試料が z 方向に動くとき、照明の1つのチャンネルがオンにされると、投影マスク画像の単一縁の横方向シフトを検出してもよい。例えば、チャンネルA（又はB）が、瞳孔の右（又は左）側から投影マスクを照明するならば、投影マスクの右（又は左）縁の横方向動作を分析してもよい。2つのチャンネルの動作方向は、反対でなければならない。2つのチャンネルの動作を減算した後に、検出感度が2倍にされることがある。縁動作検出によって取得されたNSC信号は、次に試料表面からのデフォーカスを生じさせる、 F_a 、 F_b 、 N_a 、 N_b における全エネルギーを偏向させる、表面下反射から生じるエネルギーを低減又は回避さえしてもよい。概念的には、画像縁は、原画像の導関数をとることによって簡単に検出されてもよい。

【0105】

図9Dは、本開示の1つ又は複数の実施形態に従う、AFシステム900についての追加の／代替の実施形態を示す。

【0106】

一実施形態では、AFシステム900の1つ又は複数の投影マスク906は、1つ又は複数の傾斜型投影マスク954を含む。例えば、1つ又は複数の傾斜型投影マスク954は、AFシステム900の1つ又は複数の構成要素を動かすことなく、完全なTFC曲線を獲得するために傾斜させられてもよい。この追加の／代替の実施形態において、傾斜型投影マスク954の幾何学パターンは、（図9Bに示すように）第2投影マスク906bの幾何学パターンと異なるように設計されてもよい。

【0107】

別の一実施形態では、AFシステム900の検出器アセンブリ914は、カメラ914を含む。例えば、カメラ914は、図9Bに示すように、FOV911の左側913aにPMIQを、及びFOV911の右側913bからNSCを獲得するように構成されてもよい。この実施形態では、カメラ914は、コントローラ921に通信可能に結合されてもよい。コントローラ921の1つ又は複数のプロセッサ925は、PMIQを測定し、NSC信号を発生するように構成されてもよい。

【0108】

この実施形態では、左側PMIQ画像と右側NSC画像とは、同時に読み出されてもよい。例えば、撮像処理アルゴリズムは、FOVの2つの半分を分割してもよい。例えば、分離画像処理アルゴリズムが用いられることにより、PMIQ画像及びNSC画像を処理して、焦点信号に対応するPMIQ及びNSCを取得する。2つの焦点信号は、図9Eに関して本明細書で更に説明されたデュアル制御ループによって結合されてもよい。

【0109】

ここで留意されるのは、NSC投影システム905の第2照明源902bは、A／Bチャンネル識別について時分割多重化するように構成されている。

【0110】

図9Eは、本開示の1つ又は複数の実施形態に従う、デュアル制御ループ960を表すプロセスフロー図を示す。

【0111】

デュアル制御ループ960は、撮像システムの焦点を保持又は確立するための第1制御ループ961及び第2制御ループ962を含んでもよい。この実施形態では、それぞれ、第1制御ループ961は、NSC自動焦点調節ルーチンを実装し、第2制御ループ962は、本明細書で以前に説明されたNSC及びPMIQ実施形態と整合するPMIQ自動焦点調節ルーチンを実装する。したがって、NSC及び／又はPMIQ実施形態に関して説明された様々な実施形態、構成要素、及び動作は、特に他に明記しない限り、デュアル制御ループ960に拡張するように解釈されなければならない。

【0112】

第2ループ962は、第1ループ961からのデフォーカスによって誘導された1つ又は複数の処理変動を補正するように構成されてもよい。例えば、第2ループ962は、第2ループ962が試料表面から最良の焦点平面を見出し得るように、ピーク位置TFCを

10

20

30

40

50

検出するように構成されてもよい。

【0113】

一実施形態では、開始点として、第1制御ループ961は、NSC光学部品及び制御フィードバックに基づいてステージアセンブリを調節してもよい。次いで、処理変動（例えば、第1制御ループ961からのデフォーカスによって誘導された処理変動）が存在する場合、第2制御ループ962は、焦点誤差信号を検出してもよい。焦点誤差信号は、PMIQ光学部品及び1つ又は複数の検出器アセンブリを介して取得された1組のスルーフォーカス画像によって計算されてもよい。第2ループ962の制御アルゴリズムは、それぞれの焦点オフセットにおけるPMIQ画像の1つ又は複数の焦点測定基準を計算して、スルーフォーカス曲線又はTFC上の2、3の離散点を獲得してもよい。測定されたTFCデータ点が用いられて、現在の場所における試料表面に関してPMIQの最良の焦点平面のオフセットを計算してもよい。このオフセットは、焦点誤差に対応する。この量は、次いでNSC信号に変換されて、第1制御ループ961に供給し戻されてもよい。焦点誤差信号を検出すると、第1制御ループ961は、次いでステージアセンブリを新たなz位置まで動かして、焦点誤差は十分に補正されてもよい。

10

【0114】

留意されるのは、様々なステップ964～980は、図9Eに表されるか又は本明細書で説明された特定順序に限定されるように解釈されてはならないことである。むしろ、留意されるのは、デュアル制御ループ960は、制御ループ960及びバイパス内の任意の場所番号から開始し、及び／又は任意のステップ数を繰り返してもよいことである。

20

【0115】

ステップ964において、第1ループ961は、1つ又は複数のNSC光学部品を利用して、1つ又は複数のNSC信号を取得する。例えば、AFシステム900のコントローラ921は、1つ又は複数のNSC光学部品から1つ又は複数のNSC信号を取得するように構成されてもよい。

【0116】

ステップ966において、第1ループ961は、第1制御アルゴリズム（例えば、制御アルゴリズム1）をステップ964において取得された1つ又は複数のNSC信号に適用する。

【0117】

ステップ968において、第1ループ961は、ステージアセンブリを第1制御アルゴリズム（例えば、制御アルゴリズム1）の出力に基づいて調節する。例えば、AFシステム900のコントローラ921は、ステージアセンブリ942を調節するように構成されてもよい。例えば、ステージアセンブリ942は、z方向に調節されてもよい。

30

【0118】

ここで留意されるのは、デュアル制御ループ960の第1ループ961は、フィードバックループとして構成されてもよいことである。第1ループ961の帯域幅は、制御ループの適用及び／又は1つ又は複数のハードウェア選択に基づいて調節されてもよい。更に、ここで留意されるのは、焦点誤差が存在するとき、それは処理変動を示すことである。焦点誤差の規模は、処理変動の大きさに相関する。

40

【0119】

ステップ970において、第2ループ962は、1つ又は複数のPMIQ光学部品を用いて、1つ又は複数の測定値を取得する。

【0120】

ステップ972において、第2ループ962は、検出器アセンブリを介してPMIQスルーフォーカス曲線（TFC）を取得する。例えば、AFシステム900の1つ又は複数の検出器914a、914bは、PMIQ TFCを取得してもよい。例えば、ステップ970のPMIQサブシステムを介して獲得されたTFC又はTFC上の少数の離散点が用いられて、PMIQ TFCを生成してもよい。

【0121】

50

ステップ 974 において、第 2 ループ 962 は、PMIQ TFC に基づいてデータを転送する。例えば、第 2 ループ 962 は、処理するために選択された転送先にデータ経路を経由して選択されたデータを転送するように構成されてもよい。

【0122】

ステップ 976 において、第 2 ループ 962 は、転送されたデータに基づいて焦点誤差及び符号を計算する。例えば、第 2 ループ 962 は、距離（例えば、ナノメートルの数）として表現された焦点誤差を計算してもよい。留意されるのは、焦点誤差が一般にナノメートル単位で測定され、一方、NSC 計数が、電子式デジタル信号を表し、該信号は、データの線形領域（図 2A）内の S 曲線勾配に対応する線形関係対焦点誤差を有する。

【0123】

ステップ 978 において、第 2 ループ 962 は、データを NSC 計数の第 1 ループ 961 に渡す。ステップ 980 において、第 2 ループ 962 は、第 2 制御アルゴリズム（例えば、制御アルゴリズム 2）を第 1 ループ 961 に渡されたデータに適用する。これに関して、第 2 ループ 962 は、焦点誤差を NSC 信号に変換してもよい。次いで、第 2 ループ 962 は、焦点誤差の NSC 信号をデュアル制御ループ 960 の第 1 ループ 961 に供給してもよい。焦点誤差は、次いで第 1 制御ループ 961 によって用いられて、ステージアセンブリの z 位置を調節して焦点誤差について十分に補正してもよい。

【0124】

NSC 自動焦点調節ルーチン及び PMIQ 自動焦点調節ルーチンは、2D ウェーハ検査及び 3D NAND ウェーハ検査の非配列領域について独立して動作させられてもよい。更に、PMIQ 自動焦点調節ルーチンは、処理変動は小さく、必要とされる線形範囲が約 500 nm 未満である場合、独立して動作させられてもよい。

【0125】

図 9F は、本開示の 1 つ又は複数の実施形態に従う、試料の最上面からのオフセットを含むプロット 990 を示す。

【0126】

ここで留意されるのは、試料積層体内のより深いところの欠陥を検査するために、大きい焦点オフセットが必要とされることである。一実施形態では、AF システム 900 は、試料最上面焦点軌跡に適合するユーザ設定可能な焦点オフセットに試料を設定するように構成され、該焦点軌跡は、図 9F の曲線 992 によって示すように、試料表面検査中、記録されてもよい。

【0127】

別の一実施形態では、AF システム 900 は、制御ループ 960 の第 1 ループ 962 に渡された 1 つ又は複数の焦点誤差信号を収集するように構成されてもよい。焦点誤差が存在するとき、それは処理変動を示す。焦点誤差の規模は、処理変動の大きさと相関する。焦点誤差マップ（FEM）が欠陥分布マップ（例えば、図 5）と組合せて用いられるとき、これらの 2 つのマップの相関分析によって、又は別の処理制御パラメータ値を用いて、有用情報が、歩留制限因子の根本原因を見出すためにユーザに提供されてもよい。

【0128】

別の一実施形態では、焦点誤差マップ（FEM）は、NSC 投影システム 905 を用いて生成されてもよい。処理変動に対する NSC の AF 原理の焦点感度に起因して、欠陥分布マップは、信頼性がそれほど高くない。しかし、焦点誤差マップは、それでもユーザが別の処理パラメータを用いてそれを補正することによって歩留制限因子を識別するための有用情報を含んでもよい。

【0129】

ここで留意されるのは、NSC 投影システム 905 は、独立型 AF システムとして動作させられてもよく、該独立型 AF システムは、望ましい機能性及び優れた焦点追跡性能を、2D ウェーハ検査及び PMIQ が困難であるけれども NSC の AF 原理がうまく作用する別の 3D NAND ウェーハの非配列領域に提供することである。ここで留意されるのは、NSC の AF との単なる相違は、それが、PMIQ 投影システム 903 に関連する照明

10

20

30

40

50

及び集光経路の両方での開口数を低減したことである。このことは、焦点追跡ランダムノイズを増加させることがある。それは、焦点信号 (F_a , F_b) の法線信号 (N_a , N_b) に対する比を増加させることによって低減されてもよく、該比は、NSC投影システム905において1:2である。例えば、第2ビームスプリッタ928bは、50/50とは異なる分割比を利用してもよい。例えば、第2ビームスプリッタ928bは、焦点チャンネルへの66%の透過及び法線チャンネルへの33%の反射を有してもよい。別の一例として、中性密度フィルタが用いられて、法線チャンネル内の光を低減してもよい。

【0130】

図10は、本開示の1つ又は複数の実施形態に従う、s曲線1000を示す。

【0131】

図10に示すように、s曲線1000の線形範囲1002は、照明及び集光経路の両方でのPMIQ投影システム903に関するNSC投影システム905内の低減されたNA設定によって拡張されてもよい。例えば、s曲線の線形範囲1002は、NSC投影システム905の照明及び集光経路の両方での0.5NA設定によって拡張されてもよい。NSC投影システム905は、0.9NA未満の開口数を有してもよい。例えば、NSC投影システム905は、0.4~0.6NAの間の開口数を有してもよい。例えば、NSC投影システム905は、0.5NAの開口数を有してもよい。

【0132】

図11は、本開示の1つ又は複数の実施形態に従う、AFシステム900の追加の／代替の実施形態を示す。特に、AFシステム900のPMIQ投影システム903は、NSC投影システム905と異なる倍率を伴って実装されてもよい。これに関して、PMIQ投影システム903及びNSC投影システム905は、FOV分割について同じ照明（例えば、図9Bに示すような）を共有してもよい。更に、PMIQ投影システム903は、左から右へ及び右から左への走査についてNSC投影システム905に対して先行／後続の両方であってもよい。

【0133】

それに加えて、PMIQ投影システム903視野についてのグリッドマスクは、試料の内在性パターンが2Dカメラによって分解可能ならば、除去されてもよい。これに関して、外部に投影されたパターン画質を検出する代わりに、試料パターンの撮像品質は、直接検出されて解析される。類似の制御及び焦点測定基準アルゴリズムが、本明細書で以前に説明されたシステムに適用されてもよい。ここで留意されるのは、焦点測定基準は、縁勾配に限定されないことである。例えば、ロバストなコントラスト、蓄積密度関数(CDF)、高周波エネルギー等が別個に適用されるか、又は組み合わせて適用されることにより、最良の焦点平面を決定してもよい。

【0134】

図12は、本開示の1つ又は複数の実施形態に従う、AFシステム900の追加の／代替の実施形態を示す。特に、NSC投影システム905の低NA設定は、処理変動に鈍感であることが求められている3D NANDウェーハ表面追跡のために構成されてもよい。ここで留意されるのは、これは、2D及び3D検査モジュールの異なる倍率、独立した収差、並びに焦点制御を可能にすることである。

【0135】

一実施形態では、AFシステム900は、検出器1200を含む。例えば、AFシステム900は、カメラ1200を含んでもよい。別の一実施形態では、AFシステム900は、段階的な焦点遅延1202を含む。

【0136】

別の一実施形態では、AFシステム900は、複数の焦点センサ920a'、920a''を含む。別の一実施形態では、AFシステム900は、複数の法線センサ920b'、920b''を含む。

【0137】

図13は、本開示の1つ又は複数の実施形態に従う、AFシステム900の追加の／代

10

20

30

40

50

替の実施形態を示す。特に、AFシステム900のPMIQ投影システム903及びNSC投影システム905は、類似のNA設定によって実行されるように構成されてもよい。例えば、AFシステム900は、1つ又は複数のビームスプリッタを透過される照明による同じNAを有するように構成されてもよい。

【0138】

一実施形態では、AFシステム900は、傾斜型カメラ1300を含む。別の一実施形態では、AFシステム900は、検出器アセンブリ914の前方に配設された透明平板1302を含む。透明平板1302は、当該技術分野で公知のいずれかの透明材料から形成されてもよく、該透明材料は、ガラスを含むが、これに限定されない。

【0139】

この実施形態では、照明源902は、発光ダイオード(LED)照明源902を含んでもよい。

【0140】

図14は、本開示の1つ又は複数の実施形態に従う、例示的な投影マスクパターン1400を示す。

【0141】

一実施形態では、投影マスクパターン1400は、直線空間パターン1402を含む。別の一実施形態では、投影マスクパターン1400は、正方形(又は長方形)ボックスパターン1404を含む。別の一実施形態では、投影マスクパターン1400は、星形パターン1406を含む。ここで留意されるのは、投影マスクパターン1400は、いずれかの特別に設計されたパターンを含んでもよく、そのため、上記の考察は、本開示の範囲についての限定として解釈されてはならないことである。

【0142】

別の一実施形態では、投影マスクパターン1400は、焦点検出感度を向上させるように構成されたグリッドマスクパターンを含んでもよい。例えば、試料x軸に対して異なる角度で向いている一連のバイナリ正方形ボックスは、異なる収差タイプについての詳細な情報を有する撮像品質の検出を可能にしてもよい。ここで留意されるのは、グリッドマスクの撮像コントラストは、特別の被覆を適用すること又は透過率の材料設計を変更すること、及びマスクの明暗部分の特性を遮断することによって向上させられてもよいことである。

【0143】

ここで留意されるのは、AFシステム800、900、1100、1200、1300は、AFシステム100を超えるいくつかの長所を有してもよいことである。例えば、AFシステムは、処理変動及び非パターン化領域を有する試料表面をトラッキングしてもよい。例えば、AFシステム800によって決定される試料表面平面は、配列内の処理変動及び非パターン化領域に反応しない。これに関して、表面欠陥検出感度は、高性能撮像システム(例えば、撮像システム830)の完全な資格を勝ち取ってもよい。別の一例として、AFシステムは、デフォーカス誤差を検出する増強された能力を有する。例えば、0.9NAのAFによって3DNANDウェーハ上のAFシステムを試験するとき、デフォーカス誤差が、十分に1つの焦点深度範囲内にある40nmにおいて検出された。

【0144】

別の一例として、NSC投影システム905は、照明及び集光経路の両方において低減した開口数を用いることによってs曲線線形範囲を拡張した。この拡張された線形範囲は、感受力がある方法が照明及び集光開口の両方に対してNAを0.9NAに設定したときに、典型的である焦点喪失を回避してもよい。図10に示すように、公称対称性s曲線は、下半分が歪んでいる。s曲線線形範囲は、劇的に低減される場合があり、それで容易に焦点を喪失する。

【0145】

別の一例として、拡張されたs曲線線形範囲は、また、焦点誤差に基づくNSC信号を、図9Eに示すデュアル制御ループ960の制御アルゴリズム2に供給することを可能に

10

20

30

40

50

する極限設計スキームである。別の一例として、分割された視野は、A Fシステムの1つ又は複数の構成要素の間のクロストークを解消してもよい。別の一例として、1つ又は複数の構成要素の制御ループは、2 Dウェーハ検査及び非配列領域3 D N A N Dウェーハ検査について独立して動作させられてもよい。例えば、P M I Q制御ループは、独立して動作させられてもよい。

【0146】

別の一例として、スルーフォーカス曲線（T F C）は、試料zステージを動かすこと又は光学システム内の別の部分を動かすことなく、傾斜型2 Dカメラによって代替的に獲得されてもよく、さもなければ、振動、空気揺動、及び／又は音響雑音を導入する可能性がある。更なる一例として、スルーフォーカス曲線（T F C）は、ウェーハzステージを動かすこと又は光学システム内の別の部分を動かすことなく、異なる厚さを有する1組のガラス板によって代替的に取得されてもよく、さもなければ、振動、空気揺動、及び／又は音響雑音を導入する可能性がある。

10

【0147】

更なる一例として、試料平面上のA F視野が、より小さいサイズが必要とされるときに、デジタル的に切り詰められてもよい。更に、P M I Q検出を妨害する可能性がある望ましくない試料特徴は、また、デジタル的にマスクをかけられてもよい。更に、A Fシステム100のN S C曲線は、エネルギー式方法又は縁動作式方法のいずれかによって計算で生成されてもよい。

【0148】

別の一例として、底部欠陥検出について、試料は、試料表面形状に関してユーザ設定可能な焦点オフセットのところに設置されてもよく、該試料表面形状は、表面欠陥検査中に記録される。留意されるのは、P M I Q手法及び／又はP M I Q + N S C手法は、非常にうまく作用して、3 D N A N D検査のために配列領域ウェーハ表面を追跡することである。しかし、ウェーハ積層体の底部にある又は大きい焦点オフセットにある欠陥を検査するとき、異なる方策が用いられて、N S C手法において焦点レンズについての過剰な移動範囲要件を緩和することがある。この代替の手法において、ウェーハ表面の検査中に、zステージz0（x，y，z）を記録し得る。ウェーハ底部又は大きい焦点オフセット検査について、一定のユーザ設定可能な焦点オフセットが追加されて、大きい焦点オフセットにおける検査について、自動焦点調節が、図9 Fで示すような最上面から一定オフセットを有する仮想平面まで追跡してもよい。

20

30

【0149】

更なる一例として、焦点誤差マップ（F E M）が、検査中に収集されてもよい。更に、焦点誤差マップは、検査の前に収集されてもよい。F E Mは、ユーザが処理変動根本原因及び／又は歩留制限因子を見出すのに有益であってもよい。

【0150】

ここで留意されるのは、システム800、900の1つ又は複数の構成要素は、当該技術分野で公知のいずれかの態様でシステム800、900の様々な別の構成要素に通信可能に結合されてもよいことである。例えば、1つ又は複数のプロセッサ818、925が、有線接続（例えば、銅線、光ファイバーケーブル等）を介して、又は無線接続（例えば、R F結合、I R結合、W i M a x、B l u e t o o t h（登録商標）、3 G、4 G、4 G L T E、5 G等）を介して互いに及び別の構成要素に通信可能に結合されてもよい。別の一例として、コントローラ816、921は、当該技術分野で公知のいずれか有線又は無線接続を介してシステム800、900の1つ又は複数の構成要素に通信可能に結合されてもよい。

40

【0151】

一実施形態では、1つ又は複数のプロセッサ818、925は、当該技術分野で公知のいずれかの1つ又は複数の処理要素を含んでもよい。この意味で、1つ又は複数のプロセッサ818、925は、ソフトウェアアルゴリズム及び／又は命令を実行するように構成されたいずれかのマイクロプロセッサタイプのデバイスを含んでもよい。一実施形態では

50

、1つ又は複数のプロセッサ818、925は、デスクトップコンピュータ、メインフレームコンピュータシステム、ワークステーション、イメージコンピュータ、パラレルプロセッサ、又は別のコンピュータシステム（例えば、ネットワークコンピュータ）から構成されてもよく、これらは、本開示全体を通して説明したように、システム800、900を動作させるように構成されたプログラムを実行するように構成されている。認識すべきは、本開示全体を通して説明したステップは、単一のコンピュータシステム、又は代替的に複数のコンピュータシステムによって実行されてもよいことである。更に、認識すべきは、本開示全体を通して説明したステップは、1つ又は複数のプロセッサ818、925のいずれかの1つ又は複数において実行されてもよいことである。一般に、用語「プロセッサ」とは、メモリ820、927からのプログラム命令を実行する、1つ又は複数の処理要素を有するいずれかのデバイスを包含するように広く規定されてもよい。更に、システム800、900の様々なサブシステムは、本開示全体にわたって記載したステップの少なくとも一部分を実行するのに適したプロセッサ又は論理素子を含んでもよい。そのため、上記の説明は、本開示についての限定としてではなく、単なる例示として解釈されなければならない。

【0152】

メモリ820、927は、関連する1つ又は複数のプロセッサ818、925によって実行可能なプログラム命令及びシステム800、900から受け取られたデータを記憶するのに適した当該技術分野で公知のいずれかの記憶媒体を含んでもよい。例えば、メモリ820、927は、非一過性の記憶媒体を含んでもよい。例えば、メモリ820、927は、読取り専用メモリ（ROM）、ランダムアクセスメモリ（RAM）、磁気又は光学メモリデバイス（例えば、ディスク）、磁気テープ、ソリッドステートドライブ等を含んでもよいが、これに限定されない。更に留意されるのは、メモリ820、927は、1つ又は複数のプロセッサ818、925と共に、共通のコントローラハウジング内に収容されてもよいことである。代替の一実施形態では、メモリ820、927は、プロセッサ818、925、コントローラ816、921等の物理的位置に対して離れて設置されてもよい。別の一実施形態では、メモリ820、927は、1つ又は複数のプロセッサ818、925に本開示を通して説明した様々なステップを実行させるためのプログラム命令を保持する。

【0153】

一実施形態では、ユーザインターフェースは、コントローラ816、921に通信可能に結合される。一実施形態では、ユーザインターフェースは、1つ又は複数のデスクトップ、タブレット、スマートフォン、スマートウォッチ等を含んでもよいが、これに限定されない。別の一実施形態では、ユーザインターフェースは、システム800、900のデータをユーザに表示するために用いられるディスプレイを含む。ユーザインターフェースのディスプレイは、当該技術分野で公知のいずれかのディスプレイを含んでもよい。例えば、ディスプレイは、液晶ディスプレイ（LCD）、有機発光ダイオード（OLED）式ディスプレイ、又はCRTディスプレイを含んでもよいが、これに限定されない。当業者であれば、ユーザインターフェースと一体化可能ないずれかのディスプレイデバイスは、本開示における実装に適していることを認識するはずである。別の一実施形態では、ユーザは、ユーザインターフェースのユーザ入力デバイスを介してユーザに表示されたデータに応じて選択及び／又は命令を入力してもよい。

【0154】

当業者であれば、本明細書で説明した構成要素（例えば、動作）、デバイス、物体、及びそれらに付随する考察が、概念の明快さのための例として用いられていること、及び様々な構成修正が予想されていることを認識するであろう。したがって、本明細書で用いられるとき、記載された具体的な例及び付随する考察は、それらのより一般的なクラスを意味することが意図されている。一般に、いずれかの具体的な例の使用は、そのクラスの代表であることが意図されており、そして、具体的な構成要素（例えば、動作）、デバイス、及び物体の非包含は、限定と考えられるべきではない。

【0155】

当業者であれば、本明細書で説明された処理及び／又はシステム及び／又は別の技術がそれによって達成されてもよい様々な手段（例えば、ハードウェア、ソフトウェア、及び／又はファームウェア）が存在すること、そして、好ましい手段が、処理及び／又はシステム及び／又は別の技術が配備されることに関して変化することを理解するであろう。例えば、実装者が速度と正確度が最重要であると決定すれば、実装者は、主としてハードウェア及び／又はファームウェア手段を選んでもよく、その代替として、柔軟性が最重要であるならば、実装者が、主としてソフトウェア実装を選んでもよく、あるいは、更にその代替として、実装者は、ハードウェア、ソフトウェア、及び／又はファームウェアのうちのいくつかの組合せを選んでもよい。したがって、本明細書で説明されたプロセス及び／又はデバイス及び／又は別の技術が達成されるいくつかの可能な手段が存在し、利用されることができるいずれかの手段は、そのうちのいずれかが変化し得る、手段が配備される状況及び実施者の特定の関心事（例えば、速度、柔軟性、又は予測性）に依存する選択肢であるので、別のものとの比較で本質的に優劣がない。

10

【0156】

以上の説明は、当業者が、特定の用途及びその要件に関連して提供されるように本発明を作成し使用することを可能にするように提示される。本明細書で用いられるとき、「最上部の」、「底部の」、「上に」、「下に」、「上部の」、「上向き」、「下側の」、「下に」、及び「下向き」等の指向性用語は、説明の目的のために相対位置を提供することが意図され、そして、絶対基準系を示すことは意図されない。説明された実施形態への様々な修正が、当業者に明らかになるであろう、そして、本明細書に規定された一般原理は、別の実施形態に適用されてもよい。そのため、本発明は、表示され説明された特定の実施形態に限定されることが意図されていないけれども、本明細書で開示された原理及び新規な特徴と整合する最も広い範囲に一致されることになる。

20

【0157】

本明細書での実質的にいずれかの複数及び／又は単数の用語の使用に関して、当業者であれば、複数から単数に及び／又は単数から複数に、状況及び／又は適用にふさわしいように変換することができる。様々な単数／複数の置換は、明快さのために本明細書では明白に記載されない。

【0158】

本明細書に記載された方法の全ては、方法実施形態の1つ又は複数のステップの結果をメモリに記憶することを含んでもよい。結果は、本明細書に記載された結果のうちのいずれかを含んでもよく、そして、当該技術分野で公知のいずれかの態様で記憶されてもよい。メモリは、本明細書に記載されたいずれかのメモリ又は当該技術分野で公知のいずれかの別の好適な記憶媒体を含んでもよい。結果が記憶された後に、結果は、メモリ内でアクセスされてもよく、そして、本明細書に記載された方法又はシステム実施形態のうちのいずれかによって用いられてもよく、ユーザへの表示のためにフォーマット化されてもよく、別のソフトウェアモジュール、方法又はシステムによって用いられてもよい等である。更に、結果は、「恒久的に」、「半恒久的に」、「一時的に」又はなんらかの時間期間の間、記憶されてもよい。例えば、メモリは、ランダムアクセスメモリ（RAM）であってもよく、結果は、必ずしもメモリに無期限に存続してもよいわけではない。

30

40

【0159】

更に考えられるのは、上記の方法の実施形態のそれぞれは、本明細書に記載されたいずれか別の方法のいずれか別のステップを含んでもよいことである。それに加えて、上記の方法の実施形態のそれぞれは、本明細書に記載されたシステムのうちのいずれかによって実行されてもよい。

【0160】

本明細書に記載された主題は、時には、別の構成要素内に含まれた、又はそれと接続された異なる構成要素を示す。理解すべきは、かかる示された構成は、単に例示的なものであること、実際、同じ機能を達成する多くの別の構成が実装されてもよいことである。概

50

念上の意味において、同じ機能を達成するための構成要素のいずれかの配列は、所望の機能が達成されるように有効に「関連付けられている」。それ故に、特定の機能を達成するために組み合わされた本明細書のいずれかの2つの構成要素は、構成又は中間構成要素にかかわらず、所望の機能が達成されるように互いに「関連付けられている」とみなされてもよい。同様に、そのように関連付けられたいずれかの2つの構成要素は、また、互いに「接続されている」又は「結合されている」ことにより、所望の機能を達成すると考えられてもよく、そのように関連付けられることができるいずれかの2つの構成要素は、また、所望の機能を達成するために互いに「結合可能である」と考えられてもよい。接続可能であることの具体的な例は、物理的に嵌合可能な構成要素、及び／又は物理的に相互作用する構成要素、及び／又は無線で相互作用可能な構成要素、及び／又は無線で相互作用する構成要素、及び／又は論理的に相互作用する構成要素、及び／又は論理的に相互作用可能な構成要素を含むが、これに限定されない。

【0161】

更に、本発明が添付クレームによって規定されることを理解すべきである。当業者であれば理解するであろうことは、一般に、本明細書、特に添付クレーム（例えば、添付クレーム本文）内で用いられた用語は、「オープン」用語として一般に意図されている（例えば、用語「含む」は、「含むが、これに限定されない」と解釈されなければならない、用語「有する」は、「少なくとも有する」と解釈されなければならない、用語「含む」は、「含むが、これに限定されない」と解釈されなければならない等）ことである。当業者であれば更に理解するであろうことは、導入されたクレーム記載の特定数が意図されるならば、かかる意図がクレーム内に明示的に記載され、そしてかかる記載が存在しない場合、かかる意図は存在しないことである。例えば、理解の助けとして、以下の添付クレームは、クレーム記載を導入するために導入句「少なくとも1つ」及び「1つ又は複数」の使用を含んでもよい。しかし、かかるフレーズの使用は、不定冠詞「a」又は「an」によるクレーム記載の導入が、かかる導入されたクレーム記載を含むいずれかの特定のクレームを、唯一のかかる記載を含む発明に限定すること、同じクレームが、導入句「1つ又は複数」又は「少なくとも1つ」、及び「a」又は「an」（例えば、「a」及び／又は「an」は典型的には、「少なくとも1つ」又は「1つ又は複数」を意味するように解釈されなければならない）等の不定冠詞を含むときでさえ、同じことが、クレーム記載を導入するために用いられる定冠詞の用法に当てはまる。それに加えて、たとえ導入されたクレーム記載の特定の数が明示的に記載されていても、当業者であれば、かかる記載は、典型的には、少なくとも記載された数を意味するように解釈されなければならない（例えば、別の修飾語句を伴わない「2つの記載」の生の記載は、典型的には、少なくとも2つの記載又は2つ以上の記載を意味する）ことを認識するであろう。更に、「A、B、及びC等のうちの少なくとも1つ」に類似した記法が用いられる例においては、一般に、かかる構成は、当業者がその記法を理解するであろう（例えば、「A、B、及びC等のうちの少なくとも1つを有するシステム」は、Aだけを、Bだけを、Cだけを、AとBと一緒に、AとCと一緒に、BとCと一緒に、及び／又はAとBとCと一緒に、等有するシステムを含むが、これに限定されないという）意味に意図されている。「A、B、又はC等のうちの少なくとも1つ」に類似する記法が用いられる例において、一般に、かかる構成は、当業者が、その記法を理解する（例えば「A、B、又はC等のうちの少なくとも1つを有するシステム」は、Aだけを、Bだけを、Cだけを、AとBと一緒に、AとCと一緒に、BとCと一緒に、及び／又はAとBとCと一緒に、等有するシステムを含み、これに限定されないという）意味に意図されている。更に当業者であれば理解するのは、実質的に2つ以上の代替用語を提示するいずれかの選言的語及び／又は句が、それが明細書、請求項、又は図内にあるか否かに関係なく、用語のうちの1つ、用語のうちのどちらか、又は両方の用語を含む可能性を意図しているように理解されなければならないことである。例えば、句「A又はB」とは、「A」又は「B」又は「A及びB」の可能性を含むように理解される。

【0162】

本開示及びその付随する利益の多くは、前述の説明によって理解されると信じられ、

様々な変化が、開示された主題から逸脱することなく、又はその具体的な利益の全てを犠牲にすることなく、構成要素の形式、構成及び配列でなされてもよいことが明らかである。記載された形式は、単に説明的なものであるにすぎず、かかる変化を包含し含むことが以下のクレームの意図である。更に、本発明が添付クレームによって規定されることを理解すべきである。

【図面】

【図 1】

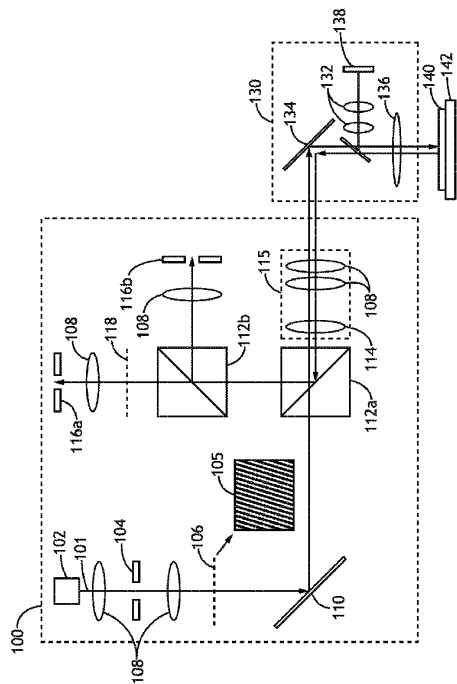
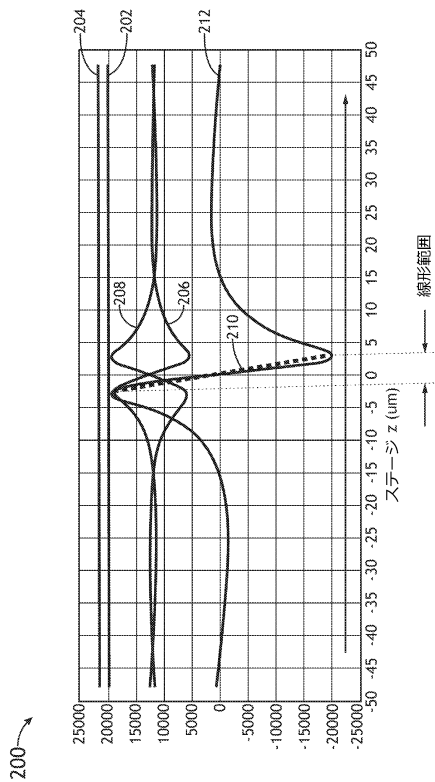
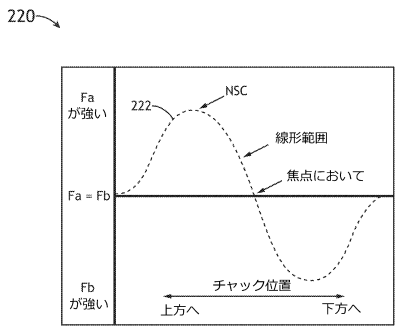


FIG.1

【図 2 A】



【図 2 B】



【図 3】

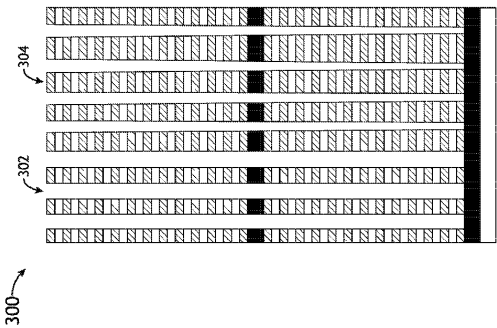
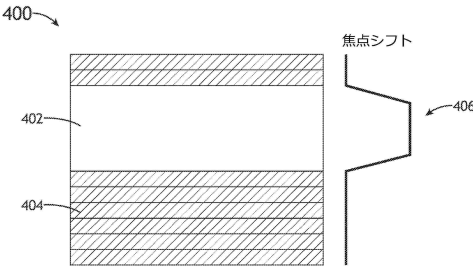
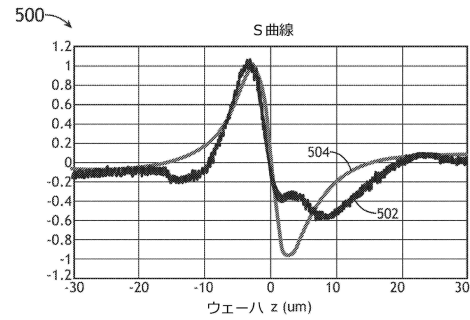


FIG.3

【図 4】

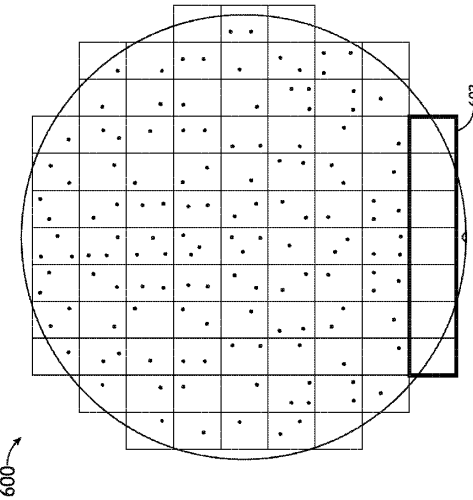


【図 5】



10

【図 6】



【図 7】

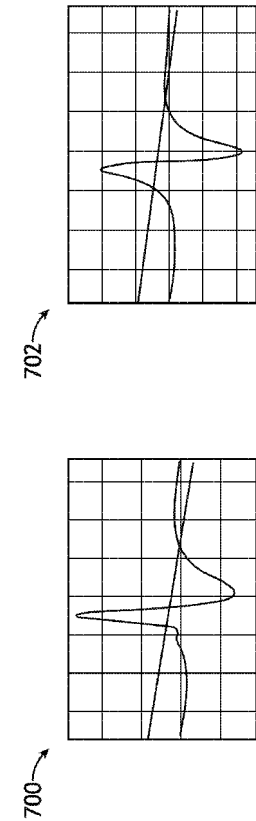


FIG.6

FIG.7

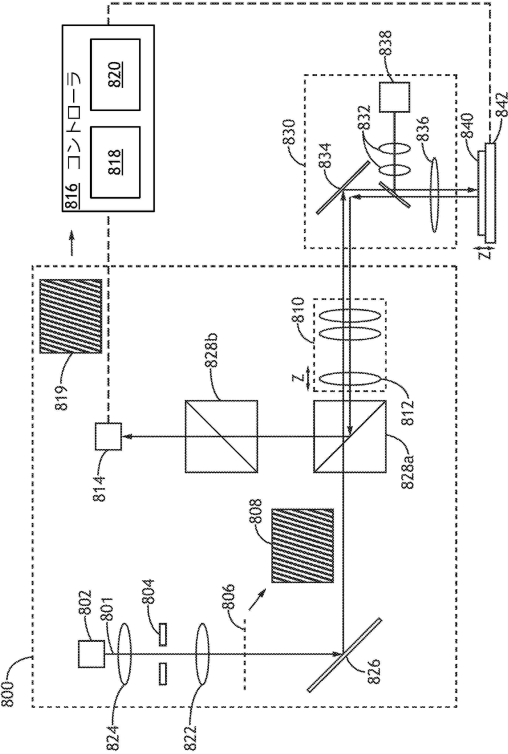
20

30

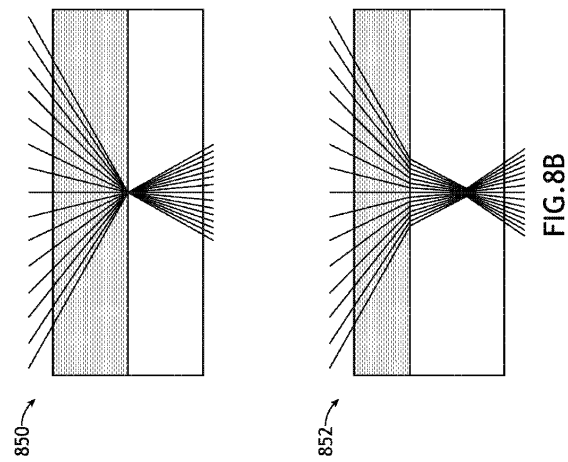
40

50

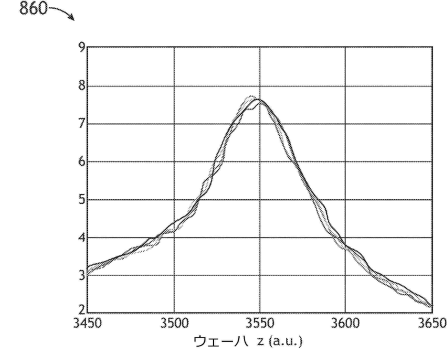
【図 8 A】



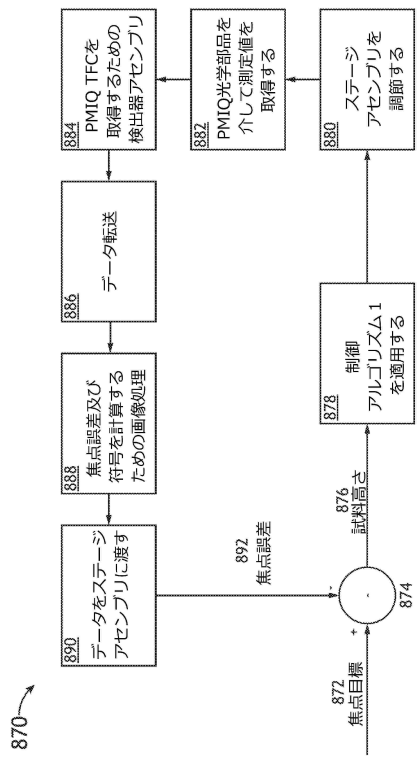
【図 8 B】



【図 8 C】



【図 8 D】



10

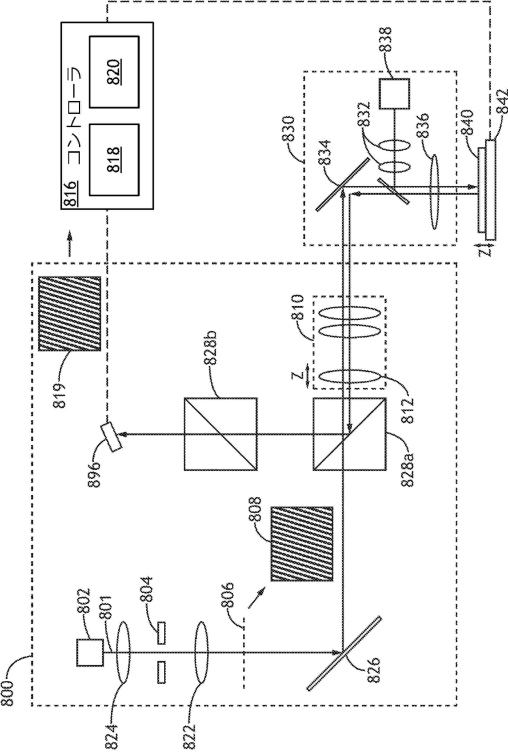
20

30

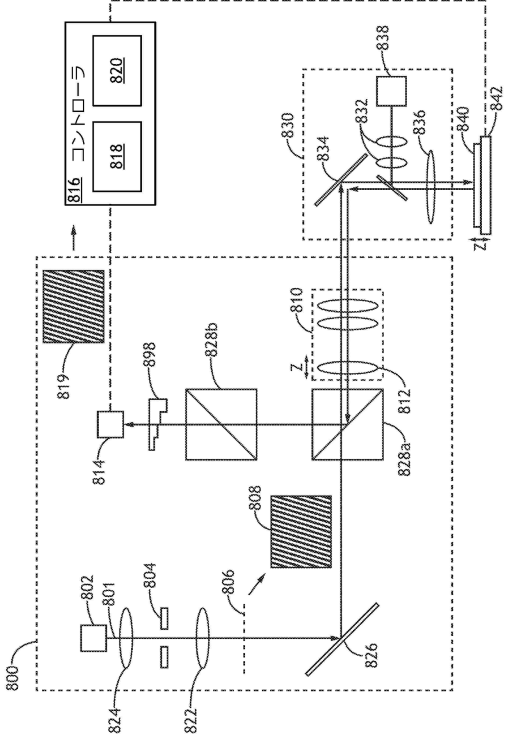
40

50

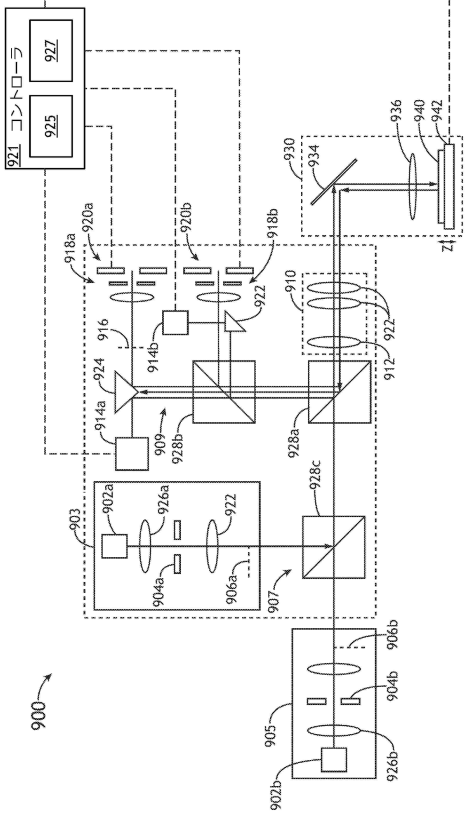
【図 8 E】



【図 8 F】



【図 9 A】



【図 9 B】

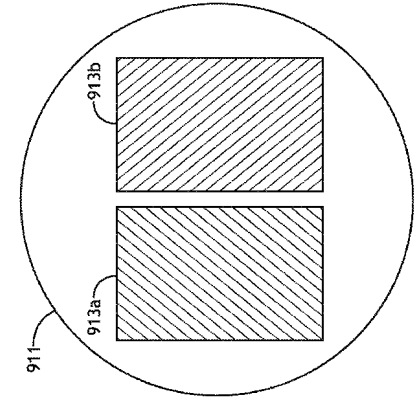


FIG.9B

10

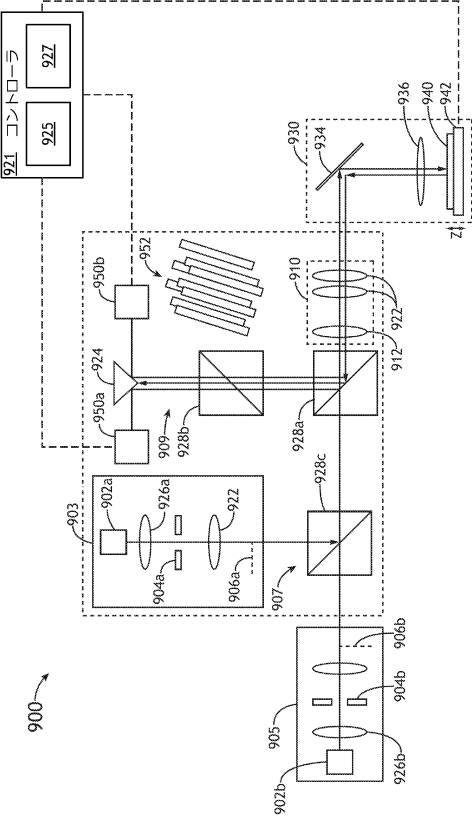
20

30

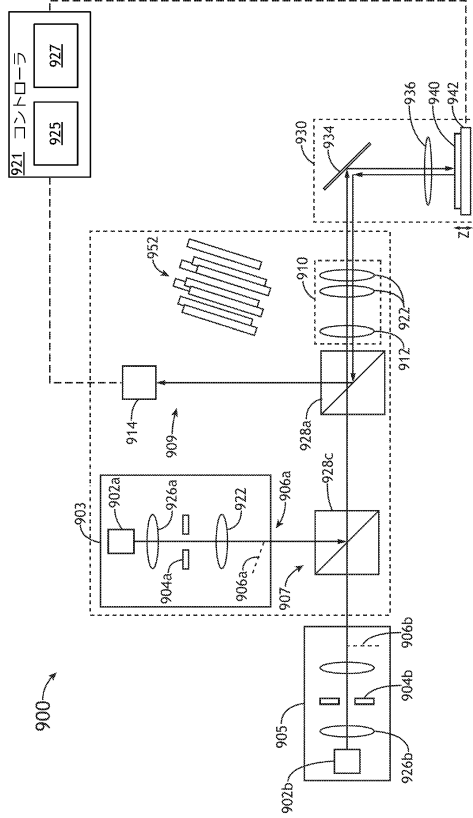
40

50

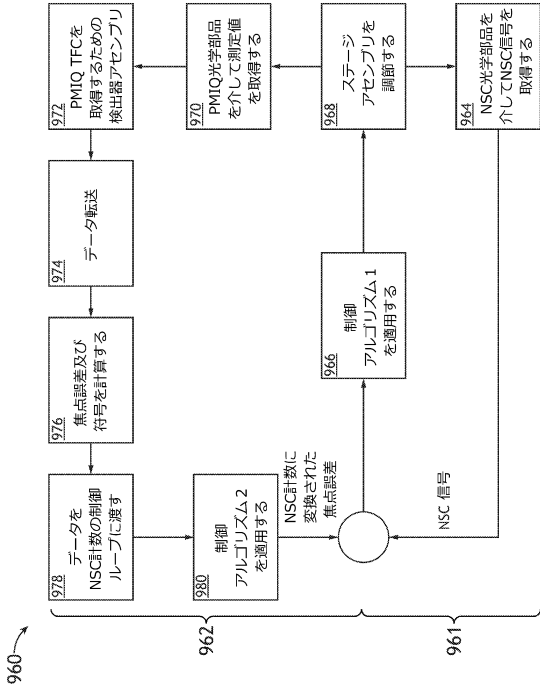
【図 9 C】



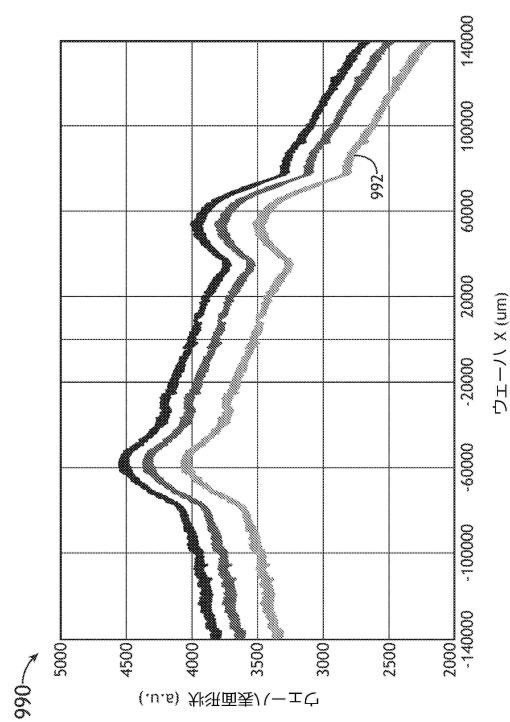
【図 9 D】



【図 9 E】



【図 9 F】



10

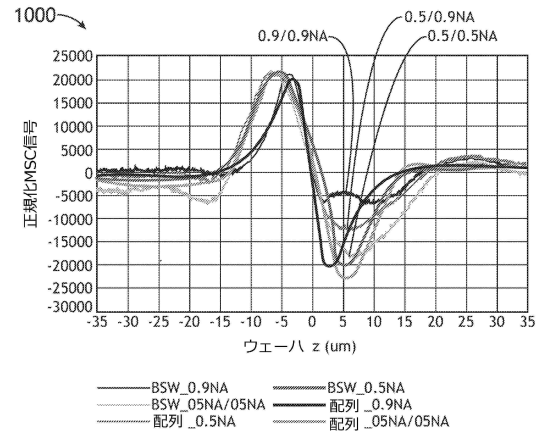
20

30

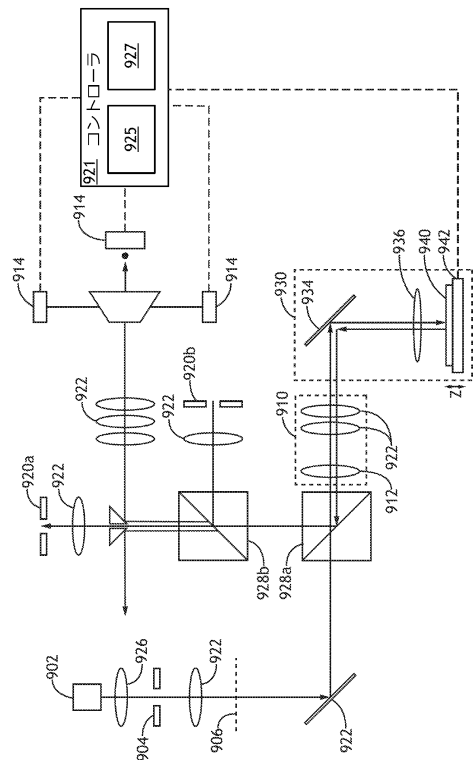
40

50

【図 10】



【図 11】



10

20

【図 12】

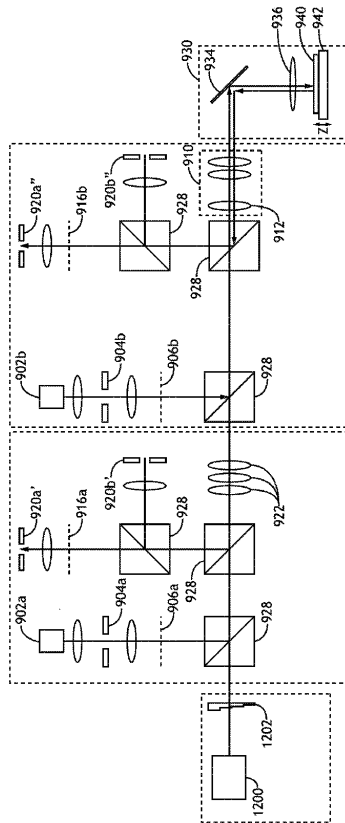


FIG. 12

【図 13】

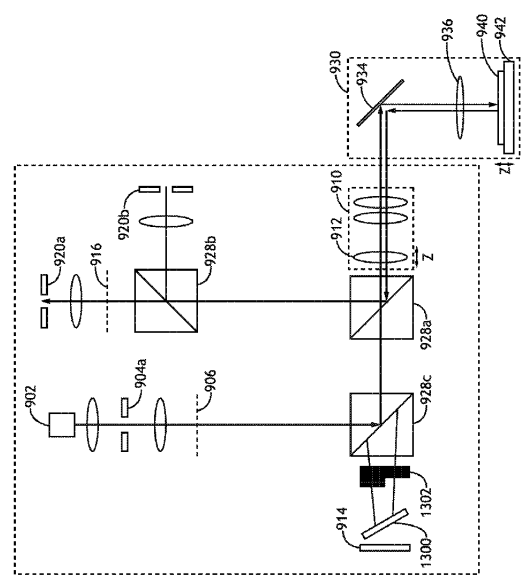


FIG. 13

30

40

50

【図 14】

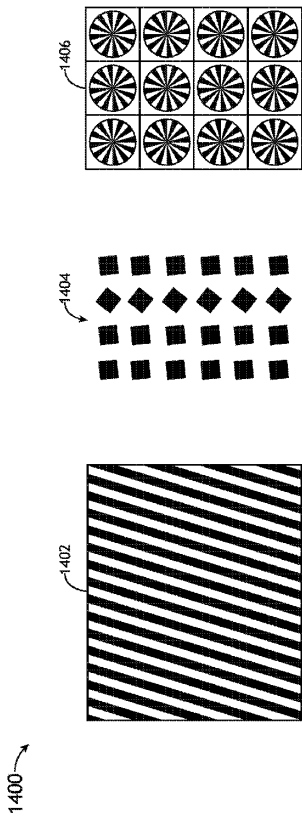


FIG.14

10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類 F I
G 0 3 F 9/02 H

(33)優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

(72)発明者 ジュスティ マシュー
アメリカ合衆国 カリフォルニア サン ノゼ サウス トゥエンティーフォース ストリート 115

(72)発明者 ブルギエ ブルック
アメリカ合衆国 カリフォルニア サン ノゼ エラン ビレッジ レーン 335 ユニット 218

審査官 藏田 敦之

(56)参考文献 特開2004-070276 (JP, A)
米国特許第05604344 (US, A)
特開2010-008630 (JP, A)
特開2009-008787 (JP, A)
特開2013-029579 (JP, A)
米国特許出願公開第2013/0093874 (US, A1)
特開2013-231990 (JP, A)
特開平02-300707 (JP, A)
特開平03-231420 (JP, A)
特開2002-289494 (JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G 0 2 B 7/28 - 7/40
G 0 3 B 3/00 - 3/12
G 0 3 B 13/30 - 13/36
G 0 3 B 21/53
G 0 3 F 9/02
H 0 4 N 23/67