

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7681628号
(P7681628)

(45)発行日 令和7年5月22日(2025.5.22)

(24)登録日 令和7年5月14日(2025.5.14)

(51)国際特許分類

F I

H O 1 L 21/677(2006.01)

H O 1 L 21/68 A

H O 1 L 21/673(2006.01)

H O 1 L 21/68 U

請求項の数 20 (全40頁)

(21)出願番号	特願2022-581488(P2022-581488)	(73)特許権者	522041444
(86)(22)出願日	令和3年6月30日(2021.6.30)		ブルックス オートメーション ユーエス
(65)公表番号	特表2023-532334(P2023-532334 A)		、エルエルシー
(43)公表日	令和5年7月27日(2023.7.27)		アメリカ合衆国、01824 マサチュ
(86)国際出願番号	PCT/US2021/039966		ーセッツ州、チェルムスフォード、エリ
(87)国際公開番号	WO2022/006319	(74)代理人	ザベス ドライブ 15
(87)国際公開日	令和4年1月6日(2022.1.6)		110001896
審査請求日	令和6年6月28日(2024.6.28)	(72)発明者	弁理士法人朝日奈特許事務所
(31)優先権主張番号	17/362,599		スヌガトフ、ラディック
(32)優先日	令和3年6月29日(2021.6.29)		アメリカ合衆国、95054 カリフォ
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		ルニア州、サンタ クララ、ショアサイド
(31)優先権主張番号	63/046,555	(72)発明者	コート 2384
(32)優先日	令和2年6月30日(2020.6.30)		ワン、ロイ アール
最終頁に続く			アメリカ合衆国、94301 カリフォ
			ルニア州、パロ アルト、ケロッグ アベ
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 基板マッピング装置およびそのための方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

半導体ウェハ搬送装置であって、前記半導体ウェハ搬送装置が、
基板キャリアのためのロードステーションと連通するウェハロード開口部を形成するフ
レームであって、前記基板キャリアが、前記ウェハロード開口部を介する積載のために前
記基板キャリアに積層された複数のウェハを保持するように配置される、フレームと、
前記ウェハロード開口部を開閉するために前記フレームに移動可能に接続された可動ドア
と、
前記ウェハロード開口部に対して移動するように前記フレームに移動可能に取り付けら
れた可動アームであって、前記可動アームが、前記ウェハロード開口部を介して前記基板
キャリアからウェハを積載するために前記可動アームに移動可能に取り付けられた少なく
とも1つのエンドエフェクタを有する、可動アームと、
前記可動ドアによって位置付けられる少なくとも1つのカメラを含む画像取得システムで
あって、前記画像取得システムが、前記ウェハロード開口部を介して、前記基板キャリア
において前記複数のウェハを保持するためのウェハスロットを見るように配置された視野
を有し、前記基板キャリアにおいて保持された前記複数のウェハの各ウェハは、前記可動
ドアによって位置付けられた前記少なくとも1つのカメラによって撮像される、画像取得
システムと、
前記可動ドアによって位置付けられた照明源であって、前記照明源は、前記ウェハロー
ド開口部を介して、前記複数のウェハの各ウェハの外縁の上縁境界および下縁境界を定め

る、前記基板キャリアにおける前記複数のウェハの各ウェハの外縁を照明するように構成され、前記複数のウェハの前記外縁が、反射された縁部の照明を前記照明源から前記少なくとも1つのカメラに方向づけ、かつ、前記ウェハロード開口部を介して前記少なくとも1つのカメラによって見られるバックグラウンド反射光を前記上縁境界および前記下縁境界で光学的に見えなくするように、前記照明源が、前記少なくとも1つのカメラに対して配置されている、照明源と、を備え、

前記複数のウェハの少なくとも1つのウェハの外縁は、前記複数のウェハの少なくとも1つのウェハの前記外縁の画像から、前記複数のウェハの少なくとも1つのウェハの反りの量または曲がりの量の判定をもたらすように、前記少なくとも1つのカメラによって登録され、かつ、前記縁部の反射と光学的に見えなくされたバックグラウンドとによって、およびそれらの間に形成された、画像コントラストにおいて浮き彫りの前記上縁境界および前記下縁境界により、前記画像取得システムによって生成された画像において画定される、半導体ウェハ搬送装置。

【請求項2】

前記エンドエフェクタが、可動ティン有し、前記可動ティンが、特定のウェハの判定された反りまたは曲がりの量に基づいて、前記特定のウェハをピックアップするためにティン間の距離を変更するように調整される、請求項1記載の半導体ウェハ搬送装置。

【請求項3】

前記可動ドアおよび少なくとも1つのカメラに通信可能に連結されたコントローラをさらに備え、前記コントローラは、前記ウェハロード開口部を開閉するために前記可動ドアを移動させ、前記可動ドアが前記ウェハロード開口部を開閉するために移動するときに、前記基板キャリアにおける前記複数のウェハの撮像をもたらすように構成される、請求項1記載の半導体ウェハ搬送装置。

【請求項4】

前記エンドエフェクタが、特定のウェハの反りの量または曲がりの量の判定に基づいて、互いに対して移動されるティン有する、請求項1記載の半導体ウェハ搬送装置。

【請求項5】

前記照明源は、前記基板キャリアにおける前記複数のウェハの平面から反射された光が、それぞれのカメラによる画像において光学的に見えなくされるように、前記それぞれのカメラに対して配置される、請求項1記載の半導体ウェハ搬送装置。

【請求項6】

半導体ウェハ搬送装置であって、前記半導体ウェハ搬送装置が、基板キャリアのためのロードステーションと連通するウェハロード開口部を形成するフレームであって、前記基板キャリアが、前記ウェハロード開口部を介する積載のために前記基板キャリアに積層された複数のウェハを保持するように配置される、フレームと、前記ウェハロード開口部を開閉するために前記フレームに移動可能に接続された可動ドアと、

前記ウェハロード開口部に対して移動するように前記フレームに移動可能に取り付けられた可動アームであって、前記可動アームが、前記ウェハロード開口部を介して前記基板キャリアからウェハを積載するために前記可動アームに移動可能に取り付けられた少なくとも1つのエンドエフェクタを有する、可動アームと、前記可動ドアによって位置付けられる少なくとも1つのカメラを含む画像取得システムであって、前記画像取得システムが、前記ウェハロード開口部を介して、前記基板キャリアにおいて前記複数のウェハを保持するためのウェハスロットを見るように配置された視野を有し、前記基板キャリアにおいて保持された前記複数のウェハの各ウェハは、前記可動ドアによって位置付けられた前記少なくとも1つのカメラによって撮像される、画像取得システムと、

前記可動ドアによって位置付けられた照明源であって、前記照明源は、前記ウェハロード開口部を介して、前記複数のウェハの各ウェハの縁部プロファイルの上縁境界および下縁境界を定める、前記基板キャリアにおける前記複数のウェハの各ウェハの縁部プロファイ

10

20

30

40

50

ルを照明するように構成され、前記複数のウェハの各ウェハの外縁が、反射された縁部の照明を前記照明源から前記少なくとも1つのカメラに方向づけ、かつ、前記ウェハロード開口部を介して前記少なくとも1つのカメラによって見られるバックグラウンド反射光を前記上縁境界および前記下縁境界で光学的に見えなくするように、前記照明源が、前記少なくとも1つのカメラに対して配置されている、照明源と、を備え、
前記複数のウェハの少なくとも1つのウェハの前記縁部プロファイルは、前記複数のウェハの少なくとも1つのウェハの前記縁部プロファイルの画像から、前記複数のウェハの少なくとも1つのウェハの反りの量または曲がりの量の判定をもたらすように、前記少なくとも1つのカメラによって登録され、かつ、前記縁部の反射と光学的に見えなくされたバックグラウンドとによって、およびそれらの間に形成された、画像コントラストにおいて浮き彫りの前記上縁境界および前記下縁境界により、前記画像取得システムによって生成された画像において画定される、半導体ウェハ搬送装置。

10

【請求項7】

前記エンドエフェクタが、可動ティン有し、前記可動ティンが、特定のウェハの判定された反りまたは曲がりの量に基づいて、前記特定のウェハをピックアップするためにティン間の距離を変更するように調整される、請求項6記載の半導体ウェハ搬送装置。

【請求項8】

前記エンドエフェクタが、特定のウェハの反りの量または曲がりの量の判定に基づいて、互いに対して移動されるティン有する、請求項6記載の半導体ウェハ搬送装置。

【請求項9】

前記照明源は、前記基板キャリアにおける前記複数のウェハの平面から反射された光が、それぞれのカメラによる画像において光学的に見えなくされるように、前記それぞれのカメラに対して配置される、請求項7記載の半導体ウェハ搬送装置。

20

【請求項10】

前記半導体ウェハ搬送装置が、前記可動ドアおよび少なくとも1つのカメラに通信可能に連結されたコントローラをさらに備え、前記コントローラは、前記ウェハロード開口部を開閉するために前記可動ドアを移動させ、前記可動ドアが前記ウェハロード開口部を開閉するために移動するときに、前記基板キャリアにおける前記複数のウェハの撮像をもたらすように構成される、請求項7記載の半導体ウェハ搬送装置。

【請求項11】

前記少なくとも1つのカメラによって撮像される前記基板キャリアの各々の別個で異なる部分が、前記基板キャリアの前記別個で異なる部分に対応するウェハスロットの異なるセットを有する、請求項10記載の半導体ウェハ搬送装置。

30

【請求項12】

方法であって、前記方法が、
半導体ウェハ搬送装置を提供する工程であって、前記半導体ウェハ搬送装置が、
基板キャリアのためのロードステーションと連通するウェハロード開口部を形成するフレームであって、前記基板キャリアが、前記ウェハロード開口部を介する積載のために前記基板キャリアに積層された複数のウェハを保持するように配置される、フレームと、
前記ウェハロード開口部に対して移動するように前記フレームに移動可能に取り付けられた可動アームであって、前記可動アームが、前記ウェハロード開口部を介して前記基板キャリアからウェハを積載するために前記可動アームに移動可能に取り付けられた少なくとも1つのエンドエフェクタを有する、可動アームと、
少なくとも1つのカメラを含む画像取得システムと、
可動ドアに接続された照明源と、を含む、工程と、
前記画像取得システムの視野が、前記ウェハロード開口部を介して、前記基板キャリアにおいて前記複数のウェハを保持するためのウェハスロットを見るように配置されるように、前記可動ドアによって前記少なくとも1つのカメラを位置付け、前記可動ドアによって位置付けられた前記少なくとも1つのカメラを用いて、前記基板キャリアにおいて保持された前記複数のウェハの各ウェハを撮像する工程と、

40

50

前記可動ドアによって位置付けられた前記照明源を用いて、前記ウェハロード開口部を介して、前記複数のウェハの各ウェハの外縁の上縁境界および下縁境界を定める、前記基板キャリアにおける前記複数のウェハの各ウェハの外縁を照明する工程であって、前記複数のウェハの前記外縁が、反射された縁部の照明を前記照明源から前記少なくとも1つのカメラに方向づけ、かつ、前記ウェハロード開口部を介して前記少なくとも1つのカメラによって見られるバックグラウンド反射光を前記上縁境界および前記下縁境界で光学的に見えなくするように、前記照明源が、前記少なくとも1つのカメラに対して配置されている、工程と、

前記複数のウェハの少なくとも1つのウェハの前記外縁の画像から、前記複数のウェハの少なくとも1つのウェハの反りの量または曲がりの量を判定する工程であって、前記複数のウェハの少なくとも1つのウェハの外縁は、前記少なくとも1つのカメラによって登録され、かつ、前記縁部の反射と光学的に見えなくされたバックグラウンドとによって、およびそれらの間に形成された、画像コントラストにおいて浮き彫りの前記上縁境界および前記下縁境界により、前記画像取得システムによって生成された画像において画定される、工程と、を含む、方法。

【請求項13】

特定のウェハの判定された反りまたは曲がりの量に基づいて、前記特定のウェハをピックアップするためにタイン間の距離を変更するように、前記エンドエフェクタの可動タインを調整する工程をさらに含む、請求項12記載の方法。

【請求項14】

特定のウェハの反りの量または曲がりの量の判定に基づいて、前記エンドエフェクタのタインを互いに対して移動させる工程をさらに含む、請求項12記載の方法。

【請求項15】

前記照明源は、前記基板キャリアにおける前記複数のウェハの平面から反射された光が、それぞれのカメラによる画像において光学的に見えなくされるように、前記それぞれのカメラに対して配置される、請求項12記載の方法。

【請求項16】

前記可動ドアおよび少なくとも1つのカメラに通信可能に連結されたコントローラを用いて、前記ウェハロード開口部を開閉するために前記可動ドアを移動させ、前記可動ドアが前記ウェハロード開口部を開閉するために移動するときに、前記少なくとも1つのカメラを用いて、前記基板キャリアにおける前記複数のウェハを撮像する工程をさらに含む、請求項12記載の方法。

【請求項17】

前記コントローラを用いて、前記基板キャリアに対して所定の位置への前記可動ドアの位置決めをもたらし、各々のそれぞれの所定の位置の前記少なくとも1つのカメラを用いて、前記基板キャリアの別個で異なる部分を撮像する工程をさらに含む、請求項16記載の方法。

【請求項18】

前記少なくとも1つのカメラによって撮像される前記基板キャリアの各々の別個で異なる部分が、前記基板キャリアの前記別個で異なる部分に対応するウェハスロットの異なるセットを有する、請求項17記載の方法。

【請求項19】

前記コントローラは、前記基板キャリアに対して所定の位置に前記可動ドアを位置付けて、各々のそれぞれの所定の位置の前記少なくとも1つのカメラを用いて、前記基板キャリアの別個で異なる部分の撮像をもたらすように構成されている、請求項3記載の半導体ウェハ搬送装置。

【請求項20】

前記少なくとも1つのカメラによって撮像される前記基板キャリアの各々の別個で異なる部分が、前記基板キャリアの前記別個で異なる部分に対応するウェハスロットの異なるセットを有する、請求項19記載の半導体ウェハ搬送装置。

10

20

30

40

50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

[関連出願の相互参照]

本出願は、開示全体が引用により本明細書に組み込まれる、2020年6月30日に出願された米国仮特許出願第63/046,555号の非仮出願であり、その利益を主張する。

【0002】

[技術分野]

例示的な実施形態は、概して、半導体製造装置に関し、より具体的には、半導体製造装置における基板の識別に関する。

【背景技術】

【0003】

単一の基板または基板のスタック（たとえば、ウェハ、レチクル、フィルムフレーム、トレイなど）を半導体製造装置に保持することができるさまざまな場所が存在する。これらの位置の各々における基板の物理的状態は、限定されないが、不在、存在、二重スロット、交差スロット、およびシフト／傾斜を含む、多くのうちの1つであり得る。概して、保持位置における各基板の物理的状態は、半導体製造装置内での基板の取り扱いを容易にするために判定（またはマッピング）される。

【0004】

ロボットエンドエフェクタ上に配置されたものなどの単一の基板の基板マッピングの一例には、真空吸引カップが基板の背面と接触する真空吸引技術が含まれる。エンドエフェクタの真空ライン上のバルブを開くことによって、吸引カップの真空圧レベルにより基板の状態が判定され、この場合では基板の状態は、基板の有無である（真空吸引技術では基板のシフトは検出されない）。真空吸引技術は、基板と真空吸引カップとの接触がしっかりと密閉されていない場合、結果として誤った読み取りにつながり得る。加えて、エンドエフェクタ上の基板の有無の判定を得るために、真空バルブの作動と定常状態の真空圧レベルの確立との間に数百ミリ秒の時間がかかる。理解され得るように、多数のウェハにわたる数百ミリ秒は、半導体製造装置を介する基板スループットに悪影響を与える。

【0005】

概して、たとえば基板カセットまたはキャリアにおけるロードポートで保持された（スタックされた基板の各々を分離する間隙を有する）基板のスタックをマッピングするために、ブレイクビーム技術が利用される。ここで、光ビームが、基板平面に平行な方向に送信機から受信機まで延びる。送信機および受信機は透過ビームセンサと呼ばれ得る。透過ビームセンサは、光ビームが基板に係合してそれにより破壊される（光ビームの破壊は基板の存在を示唆している）ように、基板スタックの側面に沿って上下に移動させられる。ブレイクビーム技術は、上述の基板の状態の多くを検出することができるが、基板平面に対する光ビームの角度に敏感であり、それによって光ビームが基板平面と正確に位置合わせされることが望まれる。ここで、透過ビームセンサを基板保持位置との間で進退させるには、少なくとも数秒かかり、各基板位置に対するビーム破壊事象とビーム復元事象の相関には、概して、透過ビームセンサの制御されたスローモーションのプロファイルが伴い、これらはすべて、基板のスループットに悪影響を与える。

【0006】

真空吸引技術とブレイクビーム技術は両方とも、機械設計が複雑である。たとえば、真空吸引技術は、基板ハンドリング機器への真空供給を利用し、基板搬送アームを介してエンドエフェクタまで真空ラインに道筋をつけることを含む。ブレイクビーム技術には、部品の移動の他に、透過ビームセンサの進退が含まれる。この複雑性の増大により、半導体処理装置の製造および保守のコストが増加する。

【0007】

上記に加えて、高度な半導体製造技術では、基板はさまざまな厚さで設けられる。基板

10

20

30

40

50

のさまざまな厚さには、基板保持位置のマップを判定する際のブレイクビーム技術に対する課題がある。たとえば、薄い基板は、光ビームを完全には遮断しない厚さを有し得、その結果、基板が存在しないという誤った識別をもたらし得る。

【0008】

基板マッピングには撮像システムも利用されてきたが、ロードポート開口部を通して基板を撮像するものなどの、従来の画像マッピングシステム基板では、基板スタックの上部（または底部）に向けて基板の画像が歪められ得るか、または一部の基板は、基板が上または下に位置づけられることによって視界から遮断され得る。また、光が基板および／または基板キャリアの内部から反射する問題があり、反射した光が基板の検出を不明瞭にし得る。

10

【0009】

さらに、半導体製造施設では、（上述のような）さまざまなタイプの基板が、搬送のために基板が着座するエンドエフェクタを有する基板搬送装置（たとえば、ロボット）によって搬送される。基板を搬送するために、基板搬送装置は、エンドエフェクタを（たとえば、基板キャリア、プロセスモジュール、または他の適切な基板保持位置の基板着座面に着座する）基板の下（またはいくつかの用途では上からの）小さな空間内に伸長させて、基板をピックアップする。エンドエフェクタでの基板のピックアップは、基板が平坦である場合には問題ないが、上述のように、高度な半導体製造技術では、基板は、さまざまな厚さで設けられ、平坦でない場合がある。たとえば、高度なパッケージングにおける薄化された基板、再構築された基板、およびファンアウト基板は、数ミリメートルまで曲がる／反る場合がある。これらの基板の反りは、エンドエフェクタが基板の下（または上）の小さな空間内に伸長して基板をピックアップするのを妨げ得る。

20

【発明の概要】

【0010】

開示された実施形態の前述の態様および他の特徴は、添付の図面に関連して行われた以下の記載において説明される。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1A】本開示の態様を組み込んだ例示的な基板処理装置である。

【図1B】本開示の態様を組み込んだ例示的な基板処理装置である。

30

【図1C】本開示の態様を組み込んだ例示的な基板処理装置である。

【図2A】本開示の態様による図1A、1B、および1Cの基板処理装置のマシンビジョンシステムおよび（1つまたは複数の）照明器の例示的な概略図である。

【図2B】本開示の態様による図1A、1B、および1Cの基板処理装置のマシンビジョンシステムおよび（1つまたは複数の）照明器の例示的な概略図である。

【図2C】本開示の態様による図1A、1B、および1Cの基板処理装置のマシンビジョンシステムおよび（1つまたは複数の）照明器の例示的な概略図である。

【図3A】本開示の態様による図2A、2B、および2Cのマシンビジョンシステムおよび（1つまたは複数の）照明器の一部の例示的な概略図である。

【図3B】本開示の態様による図2A、2B、および2Cのマシンビジョンシステムおよび（1つまたは複数の）照明器の一部の例示的な概略図である。

40

【図3C】本開示の態様による図2A、2B、および2Cのマシンビジョンシステムおよび（1つまたは複数の）照明器の一部の例示的な概略図である。

【図3D】本開示の態様による図2A、2B、および2Cのマシンビジョンシステムおよび（1つまたは複数の）照明器の一部の例示的な概略図である。

【図4A】本開示の態様による図2A、2B、および2Cのマシンビジョンシステムによって捕捉された基板の例示的な画像である。

【図4B】本開示の態様による図4Aの画像の例示的な強度プロファイルである。

【図5】本開示の態様による図2A、2B、および2Cのマシンビジョンシステムによって撮像された基板の生のプロファイルと撮像された基板の対応する真のプロファイルとの

50

例示的な比較である。

【図 6 A】本開示の態様による基板の上縁境界および下縁境界ならびに光学的に見えなくされたバックグラウンドを有する基板のスタックの例示的な画像である。

【図 6 B】本開示の態様による基板のスタックにおける基板の例示的な画像である。

【図 6 C】本開示の態様による基板のスタックにおける基板の例示的な画像である。

【図 6 D】本開示の態様による、画像のバックグラウンドから縁部を分離するように基板のスタックの画像の最適化を示す画像最適化の例である。

【図 6 E】本開示の態様による対象の領域における図 6 D の分離された縁部の例である。

【図 6 F】本開示の態様による、キャリアの共通の基板保持スロット内の図 6 D の分離された縁部が、それぞれの基板保持スロットの境界に接続され、存在する、画像最適化の例である。

10

【図 7 A】本開示の態様による図 2 A、2 B、および 2 C の（1 つまたは複数の）照明器の例示的な図である。

【図 7 B】本開示の態様による図 7 A の（1 つまたは複数の）照明器の 1 つまたは複数の例示的な光路の概略図である。

【図 8 A】本開示の態様による図 1 A、1 B、および 1 C の基板処理装置の例示的な搬送アームの概略図である。

【図 8 B】本開示の態様による図 8 A の搬送アームの（1 つまたは複数の）照明器の 1 つまたは複数の例示的な光路の概略図である。

【図 9 A】本開示の態様によるさまざまな角度から撮像された基板の生の縁部プロファイルおよび真のプロファイルの例示的な概略図である。

20

【図 9 B】本開示の態様によるさまざまな角度から撮像された基板の生の縁部プロファイルおよび真のプロファイルの例示的な概略図である。

【図 9 C】本開示の態様によるさまざまな角度から撮像された基板の生の縁部プロファイルおよび真のプロファイルの例示的な概略図である。

【図 9 D】本開示の態様によるさまざまな角度から撮像された基板の生の縁部プロファイルおよび真のプロファイルの例示的な概略図である。

【図 10】本開示の態様による生の縁部プロファイルおよび補正された真のプロファイルの例示的な図である。

【図 11】本開示の態様による生の縁部プロファイルおよび補正された真のプロファイルの例示的な図である。

30

【図 12】本開示の態様による生の縁部プロファイルおよび補正された真のプロファイルの例示的な図である。

【図 13】本開示の態様による生の縁部プロファイルおよび補正された真のプロファイルの例示的な図である。

【図 14】本開示の態様による方法の例示的なフロー図である。

【図 15 A】本開示の態様による基板キャリアの例示的なベースライン画像を例示する。

【図 15 B】本開示の態様による基板キャリアの例示的なベースライン画像を例示する。

【図 15 C】本開示の態様による基板キャリアの例示的なベースライン画像を例示する。

【図 15 D】本開示の態様による基板キャリアの例示的なベースライン画像を例示する。

40

【図 16 A】本開示の態様による、基板キャリアのそれぞれの異なる別個の領域の画像を各々が捕捉する複数のカメラによって撮影された基板の生および真のプロファイル画像の概略図である。

【図 16 B】本開示の態様による、基板キャリアのそれぞれの異なる別個の領域の画像を各々が捕捉する複数のカメラによって撮影された基板の生および真のプロファイル画像の概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

図 1 A、1 B、および 1 C は、本開示の態様による例示的な基板処理装置 100、150、165 を例示している。本開示の態様が、図面を参照して説明されるが、多くの形態

50

で具体化され得ることを理解されるべきである。さらに、任意の適切なサイズ、形状、またはタイプの要素または材料が使用され得る。

【0013】

図1A、1B、1C、および2Aを参照すると、本開示の態様は、基板マッピングおよび／または基板の縁部プロファイリングを実施するためのマシンビジョンシステム200（本明細書では画像取得システムとも呼ばれる）および少なくとも1つの照明器220（たとえば、限定されないが、LED、蛍光灯、フラッドライト、ライトアレイなど、またはそれらの組み合わせを含む、分布型の直接的または間接的な光源）を含む基板マッピング装置181（本明細書では半導体ウェハマッピング装置とも呼ばれる）を提供する。本開示の態様によれば、マシンビジョンシステム200は少なくとも1つのカメラ210（または任意の適切な画像取得センサ）を含む。マシンビジョンシステム200の少なくとも1つのカメラ210および少なくとも1つの照明器220は、基板処理装置100、150、165の任意の適切な位置に配置された基板スタック270の画像を捕捉するために1つまたは複数の位置に配置される。いくつかの態様では、少なくとも1つのカメラ210は、本明細書に記載されるようなカメラアレイ277（本明細書ではカメラシステムまたはカメラのアレイとも呼ばれる）である。基板スタック270における基板S（本明細書ではウェハとも呼ばれる）の基板マップ280（本明細書ではマップと呼ばれる）は、たとえば、基板スタック270における基板Sの捕捉された画像の任意の適切な分析／処理を介して、基板スタック270における基板Sの真の縁部プロファイル500T（図5を参照）（またはいくつかの態様では、たとえば図10に示されるような補正された真の縁部プロファイル500TC）から判定される。本開示から理解され得るように、本明細書に開示された基板マッピング装置181は、従来の基板マッパーの、上述の欠点などの、欠点を克服する。本開示の基板マッピング装置181は、実質的に可動部品がなく、実質的にハードウェアのアップグレードなしで、ソフトウェアを介して基板マッピングを強化する機会を提供しながら、基板処理装置100、150、165（またはそれらの1つまたは複数のコンポーネント）などの、任意の適切な半導体製造装置（本明細書では基板処理装置とも呼ばれる）に一体化することができる。また本明細書に記載されるように、本開示の態様は、限定されないが、平坦でない場合がある基板の縁部プロファイルの測定を含む、高度なマッピング用途を提供する。

【0014】

本開示の態様はまた、基板搬送装置180（図1Aを参照）のエンドエフェクタ180E（図8Aも参照）の基板保持タイン180ET1、180ET2間の距離TD（図1Aを参照）が、反った／曲がった基板をピックアップするべく調整することができるように、基板Sの縁部プロファイルの測定を提供する。調整可能なタインを有するエンドエフェクタの適切な例は、開示全体が引用により本明細書に組み込まれる、2017年9月1日出願された「Substrate Processing Apparatus」と題された米国特許出願第15／693,871号で見ることができる。調整可能な基板保持タイン180ET1、180ET2を有するエンドエフェクタを組み込むことができる基板搬送装置180の適切な例は、開示全体が引用により本明細書に組み込まれる、2015年10月30日出願された「Wafer Aligner」と題された米国特許出願第14／928,352号に記載されている。本明細書に記載されるように、少なくとも1つのカメラ210および少なくとも1つの照明器220は、基板Sまたは基板スタック270の画像を（1つまたは複数の）基板Sの幅にわたって捕捉する位置に配置されている。各基板Sの縁部プロファイルは、捕捉された画像を処理することから画定される。（1つまたは複数の）基板の縁部プロファイルに基づいて、その幅にわたる各基板Sの下の利用可能な空間が任意の適切な方法で判定される。コントローラ199などの任意の適切なコントローラの制御下にある基板搬送装置180は、エンドエフェクタ180Eが基板Sの下に伸長することを可能にするクリアランスを有する反った／曲がった基板Sの下の領域にタインが伸長するように、エンドエフェクタ180Eの基板保持タイン180TE1、180TE2間の距離TD（図1Aを参照）の調整を命令する。

【0015】

概して、本明細書でより詳細に説明されるように、本開示の態様は、基板が少なくとも1つの照明器220によって照明されている間に、基板の外縁233の画像を捕捉するように少なくとも1つのカメラ210を利用する。ここで、任意の適切なコントローラ（コントローラ199など）は、本明細書に記載されるものなどの任意の適切なアルゴリズムを使用して、（1つまたは複数の）捕捉された画像から基板の縁部プロファイルを描定する。少なくとも1つのカメラ210によって撮像された各基板の外縁233上の多数のデータ点が、基板の幅Wにわたる分散および拡散照明の利用によって最大化され、ここで、基板の幅のさまざまなセクションに対する複数の露光技術（たとえば、露光速度、絞りなどの調整）が利用される。各基板Sの外縁233上のデータ点の精度は、（本明細書でより詳細に説明されるように）空間較正データ281として標準基板の縁部プロファイルを捕捉して保存する（たとえば、コントローラ199にプログラムされている）アルゴリズムによって最大化される。マップ280および／または縁部プロファイルを判定するための基板マッピング装置181の実行時に、測定された基板の生のプロファイルが空間較正データ281と比較されて、基板Sの補正された真のプロファイル500TCを判定する（図10～13を参照）。生のプロファイルは、それぞれのカメ​​ラによって見られるような基板の縁部プロファイルである（すなわち、カメラの視野の二次元平面上への三次元基板の縁部の投影（図5の左側および図9B～9Dも参照））。真のプロファイル500Tおよび／または補正された真のプロファイル500TCは、基板Sをピックアップするときに基板搬送装置180のエンドエフェクタ180Eが「見る」ものである（すなわち、エンドエフェクタ180Eの伸張／収縮の平面上への三次元の基板の縁部のまっすぐな投影（図5の右側および図9Aも参照））。

10

20

【0016】

図1A、1B、および1Cを参照すると、本開示の態様は、基板処理装置100、150、165に関して説明されるが、本開示の態様はソーターにも等しく適用可能であり、ここで、複数のキャリア110が移送チャンバ130に連結され、基板が、（たとえば、所定の配列／順序に従って1つまたは複数のキャリアに基板を配置するために）移送チャンバ130内の基板搬送装置180によって1つのキャリア110から別のキャリア110に移動させられ、ここで、ソーターには基板プロセス（プロセス140、160、170など）は含まれていない。図1Aを参照すると、基板処理装置100は、ロードポート120、搬送チャンバ130、およびラインプロセス140（たとえば、概して、エッチングなどの真空を使用する薄膜プロセス、化学蒸着、プラズマ蒸着、注入、計測、ラピッドサーマルプロセス、ドライストリップ原子層、酸化／拡散、窒化物の形成、リソグラフィ、エピタキシー、または含まないが、金属相互接続層の蒸着までの半導体においてパターン化された個々の半導体構造の製造のための他の薄膜プロセスを含む）の任意の適切なフロントエンドを含む。ロードポート120は、搬送チャンバ130に連結され、任意の適切な基板カセットまたはキャリア110を搬送チャンバ130にインターフェース接続するように構成されている。搬送チャンバ130は、ラインプロセス140のフロントエンドに連結され、任意の適切な開口部および／またはバルブを含み、そこを通過して、搬送チャンバ130とラインプロセス140のフロントエンドとの間で基板が通過させられる。

30

40

【0017】

搬送チャンバ130は、基板キャリア110とラインプロセス140のフロントエンドとの間で基板Sを移送するように構成された基板搬送装置180を含む。ここで、基板搬送装置180は、ロードポート120の開口部888を介して基板Sを基板キャリア110に積載するおよび基板キャリア110から取り出すためのエンドエフェクタ180Eを有する搬送アーム180TAを含む。上述のように、基板搬送装置180の適切な例は、開示全体が引用により本明細書に組み込まれる、2015年10月30日に出願された「Wafer Aligner」と題された米国特許出願第14／928,352号で見ることができる。たとえば、図8Aおよび8Bを参照すると、開示された実施形態の態様は

50

、大気搬送ロボット１８０に関して説明されるが、開示された実施形態の態様が、ラインプロセス１４０のフロントエンド、ラインプロセス１６０のバックエンド、およびバックエンドプロセス１７０に見られるものなどの真空搬送ロボットに等しく適用可能であることが理解されるべきである。理解され得るように、基板搬送装置１８０は、少なくともＸおよび／またはＹ方向に移動可能であるように（開示全体が引用により本明細書に組み込まれる、２０１４年８月１１日に出願された「Substrate Processing Apparatus」と題された米国特許出願第１４／３７７，９８７号に記載されるものなどの）リニアスライド８５０またはブームアームＢＡに取り付けられるが、他の態様では、基板搬送装置は、Ｘおよび／またはＹ方向の移動から固定されるようにされる。示される構成は、説明目的のみで表されており、例示された構成要素の配列、形状、および配置は、本発明の範囲から逸脱することなく、望まれるように変更されてもよい。

10

【００１８】

図１Ａ～１Ｃおよび８Ａに見られるように、一態様では、基板搬送装置１８０は、搬送チャンバ１３０のフレーム８００に、または他の態様では、基板処理装置１００、１５０、１６５の任意の適切なモジュールのフレームに移動可能に取り付けられる。理解され得るように、フレーム８００は、１つまたは複数の開口部８８８（本明細書ではウェハロード開口部とも呼ばれる）を含み、１つまたは複数の開口部８８８は、開口部８８８を通過して基板処理装置１００へと（および同様に、本明細書に記載される基板処理装置１５０、１６５へと）積載するために（本明細書に記載されるように）垂直に分配された配置で１つまたは複数の基板Ｓを保持するようにロードポート１２０上に配置されている基板キャリア１１０のためのロードポート１２０（本明細書ではロードステーションとも呼ばれる）と連通している。基板搬送装置１８０は、一態様では、搬送アーム１８０ＴＡがフレーム８００に移動可能に取り付けられるようにキャリッジ８６３に取り付けられている搬送アーム１８０ＴＡ（本明細書では可動アームとも呼ばれる）を含む。キャリッジ８６３は、一態様では、Ｘ方向に移動可能であるようにリニアスライド８５０に取り付けられ、他の態様では、キャリッジ８６３は、Ｘ（および／またはＹ）方向に固定されるようにフレーム８００に取り付けられる。一態様では、任意の適切な駆動部８６７が、フレーム８００に取り付けられ、搬送アーム１８０ＴＡをＸ方向に移動させるために任意の適切なトランスミッションによってキャリッジ８６３に駆動可能に接続される。本態様では、トランスミッションはベルトおよびプーリのトランスミッションであり、駆動部は回転駆動部であるが、他の態様では、駆動部８６７は、任意の適切なトランスミッションを用いて、またはトランスミッションなしで（たとえば、キャリッジがリニアアクチュエータの駆動部分を含む場合など）、キャリッジ８６３に駆動可能に接続されているリニアアクチュエータである。ここで、搬送アーム１８０ＴＡは、回転駆動部８６２、Ｚ駆動部コラム８３０、スライド本体８２０、および１つまたは複数のエンドエフェクタ１８０Ｅを含む。回転駆動部８６２は、キャリッジ８６３に取り付けられた任意の適切な回転駆動部であり、Ｚ駆動部コラム８３０は、θ軸を中心に矢印Ｔの方向（たとえば、θ方向）に回転するように回転駆動部８６２の出力部に取り付けられる。スライド本体８２０は、Ｚ駆動部コラム８３０に移動可能に取り付けられ、ここで、Ｚ駆動部コラム８３０は、スライド本体８２０をＺ方向に移動させるための任意の適切な駆動モータおよび／またはトランスミッションを含む。

20

30

40

【００１９】

１つまたは複数（たとえば、少なくとも１つ）のエンドエフェクタ１８０Ｅは、Ｒ方向に伸縮するように任意の適切な方法でスライド本体８２０に移動可能に取り付けられる（（１つまたは複数の）エンドエフェクタ１８０Ｅの伸長を、Ｘ軸またはＹ軸と、またはＸ－Ｙ平面内の任意の適切な回転角度で位置合わせすることができるよう、Ｒ方向が軸θを中心に回転することに留意）。２つのエンドエフェクタ１８０Ｅが例示目的のみで例示されているが、任意の適切な数のエンドエフェクタがスライド本体８２０に取り付けられることが理解されるべきである。理解され得るように、１つまたは複数のエンドエフェクタ１８０Ｅは、搬送アーム１８０ＴＡとユニットとして、フレーム８００に対して第１の

50

方向（たとえば、X、Y、およびZ方向の1つまたは複数）に横断し、第1の方向とは異なる第2の方向（たとえばR方向）に、搬送アーム180TAに対して、直線的に横断する。スライド本体820は、各エンドエフェクタ180EをR方向に独立して移動させるように構成された1つまたは複数のリニア駆動部825を含む。1つまたは複数のリニア駆動部825は、一態様において、たとえば、開示全体が引用により本明細書に組み込まれる、2013年12月17日に出願された「Substrate Transport Apparatus」と題された米国仮特許出願第61/917,056号に記載されるものに略類似した任意の適切なトランスミッションを有する（1つまたは複数の）任意の適切な駆動部である。エンドエフェクタ180Eは、伸縮の共通の軸Rを有するべく互いに積み重ねられるように、スライド本体820上に配置される。エンドエフェクタはまた、開示全体が引用により本明細書に組み込まれる、2017年9月1日に出願された「Substrate Processing Apparatus」と題された米国特許出願第15/693,871号に記載されるように、エンドエフェクタタイン180ET1、180ET2間の距離TD（図1Aを参照）を調整するための任意の適切な駆動部を含み得る。

【0020】

キャリア110は、フロントオープニングキャリア（図1Aおよび1Bに例示され、その適切な例はフロントオープニングユニファイドポッド（FOUP）である）またはボトムオープニングキャリア（その適切な例は標準化メカニカルインターフェース（SMIF）ポッドである）などの、任意の適切なキャリア110であり得る。一態様では、キャリア110は、開示全体が引用により本明細書に組み込まれる、2015年8月11日に発行された（「Side Opening Unified Pod」と題された）米国特許第9,105,673号明細書に記載されるものに略類似し得る。一態様では、搬送チャンバ130は、ラインプロセス140のフロントエンドの雰囲気と同じ雰囲気（たとえば、真空雰囲気）を有するが、他の態様では、搬送チャンバは大気環境を有し、ラインプロセス140のフロントエンドは、ラインプロセス140のフロントエンドの処理雰囲気を劣化させることなく、ラインプロセス140のフロントエンドと搬送チャンバ130との間で基板Sを移送するための任意の適切なロードロックを含む。

【0021】

図1Bを参照すると、基板処理装置150は、（本明細書に記載されるものに類似した）ロードポート120、（本明細書に記載されるものに類似した）搬送チャンバ130、および任意の適切なラインプロセス160のバックエンド（たとえば、概して、ラインプロセス140のフロントエンドによって形成された半導体構造の金属相互接続層の製作に関連付けられ、最終的なパッシベーション層の製作までのラインプロセスのフロントエンドの後の任意の適切な処理工程を含む）を含む。ロードポート120は、搬送チャンバ130に連結され、任意の適切な基板キャリア110を搬送チャンバ130にインターフェース接続するように構成されている。搬送チャンバ130は、ラインプロセス160のバックエンドに連結され、任意の適切な開口部および／またはバルブを含み、そこを通過して、搬送チャンバ130とラインプロセス160のバックエンドとの間で基板が通過させられる。搬送チャンバ130は、キャリア110とラインプロセス160のバックエンドとの間で基板を移送するように構成された（上記のものなどの）基板搬送装置180を含む。キャリア110は、フロントオープニングキャリア（図1Aおよび1Bに例示され、その適切な例はフロントオープニングユニファイドポッド（FOUP）である）またはボトムオープニングキャリア（その適切な例は標準化メカニカルインターフェース（SMIF）ポッドである）などの、任意の適切なキャリア110であり得る。一態様では、キャリア110は、開示全体が引用により本明細書に組み込まれた、2015年8月11日に発行された（「Side Opening Unified Pod」と題された）米国特許第9,105,673号明細書に記載されるものに略類似し得る。一態様では、搬送チャンバ130は、ラインプロセス160のバックエンドの雰囲気と同じ雰囲気（たとえば、真空雰囲気）を有するが、他の態様では、搬送チャンバは大気環境を有し、ラインプロセ

ス１６０のバックエンドは、ラインプロセス１６０のバックエンドの処理雰囲気を劣化させることなく、ラインプロセス１６０のバックエンドと搬送チャンバ１３０との間で基板Ｓを移送するための任意の適切なロードロックを含む。

【００２２】

図１Ｃを参照すると、基板処理装置１６５は、（本明細書に記載されるものに類似した）ロードポート１２０、（本明細書に記載されるものに類似した）搬送チャンバ１３０、および任意の適切なバックエンドプロセス１７０（たとえば、概して、基板テスト、基板バックグラインディング、ダイ分離、ダイテスト、ＩＣ（集積回路）パッケージング、および最終テストを含む）を含む。ロードポート１２０は、搬送チャンバ１３０に連結され、任意の適切な基板キャリア１１０を搬送チャンバ１３０にインターフェース接続するように構成されている。搬送チャンバ１３０は、バックエンドプロセス１７０に連結され、任意の適切な開口部および／またはバルブを含み、そこを通過して、搬送チャンバ１３０とバックエンドプロセス１７０との間で基板Ｓが通過させられる。搬送チャンバ１３０は、キャリア１１０とバックエンドプロセス１７０との間で基板を移送するように構成された（上記のものなどの）基板搬送装置１８０を含む。キャリア１１０は、上述のように、フロントオープニングキャリア（図１Ａおよび１Ｂに例示され、その適切な例はフロントオープニングユニファイドポッド（ＦＯＵＰ）である）またはボトムオープニングキャリア（その適切な例は標準化メカニカルインターフェース（ＳＭＩＦ）ポッドである）などの、任意の適切なキャリア１１０であり得る。一態様では、キャリア１１０は、開示全体が引用により本明細書に組み込まれた、２０１５年８月１１日に発行された（「Side Opening Unified Pod」と題された）米国特許第９，１０５，６７３号明細書に記載されるものに略類似し得る。

【００２３】

図２Ａ、２Ｂ、および２Ｃを参照すると、基板マッピング装置１８１は、ロードポート１２０上に着座してそれと係合した基板キャリア１１０において保持された１つの基板Ｓまたは基板のスタック２７０に関して説明されるが、他の態様では、１つの基板Ｓまたは基板のスタック２７０は、限定されないが、任意の適切な基板バッファ、基板アライナ、ロードロック、および１つまたは複数の基板Ｓが保持される任意の他の位置を含む基板処理装置１００、１５０、１６５の任意の適切な位置に配置され得る。上記のように、基板マッピング装置１８１は、基板処理装置１００、１５０、１６５のコントローラ１９９などの任意の適切なコントローラに連結されている少なくとも１つのカメラ２１０および少なくとも１つの照明器２２０を含む。基板Ｓまたは基板のスタック２７０は、少なくとも１つのカメラが、少なくとも１つの照明器２２０によって照明された（１つまたは複数の）基板の縁部の少なくとも１つの画像を捕捉するように、本明細書に記載されるように少なくとも１つの照明器２２０によって照明される。画像を具体化する信号は、画像の処理のために、および任意の適切な画像処理アルゴリズムを使用して画像からマップ２８０を抽出する（またはそうでなければ判定する）ために、少なくとも１つのカメラ２１０からコントローラ１９９に送信される。マップ２８０は、コントローラ１９９が、マップ２８０によって判定されるような基板Ｓまたは基板スタック２７０における各基板の状態に基づいて基板搬送装置の移動を命令することができるように、コントローラ１９９の任意の適切なメモリ１９９Ｍに保存されるか、またはコントローラ１９９によってアクセス可能である。本明細書に記載されるように、１つまたは複数の態様では、（１つまたは複数の）基板Ｓを撮像してマップを判定するために、単一のカメラおよび照明器のペアが利用されるが、他の態様では、複数のカメラおよび／または複数の照明器が使用される。いくつかの態様では、基板の種類（たとえば、厚さ、形状、材料など）の他に、基板を取り囲む環境（たとえば、キャリア１１０内に配置される、封入されていないラック内に配置されるなど）に応じて、基板Ｓまたは基板スタック２７０の複数の画像が撮影され、本明細書に記載されるようにマップ２８０を判定するように分析される。例示目的のみで、本明細書で提供される説明は、単一の画像のみが分析されると仮定しているが、上述のように、本開示の態様から逸脱することなく、複数の画像を比較する、重ね合わせることなどがで

き、本明細書に記載される方法に類似した方法で分析することができる。また、説明を簡単にするために、本開示は、基板スタック 270 の分析に関して説明されているが、単一の基板 S の分析は、本明細書に記載される分析に略類似している。

【0024】

本明細書に記載されるように、マップ 280 は、基板スタック 270 の各保持スロットにおける各基板 S の状態を判定するように決定されるか、またはそうでなければ生成される。基板スタック 270 における基板 S の外縁 233 が、画像（たとえば、図 4 の画像 400 を参照）において捕捉されるように、基板スタック 270 の画像が、基板スタック 270 に対する（1 つまたは複数の）任意の適切な位置で少なくとも 1 つのカメラ 210 および少なくとも 1 つの照明器 220 を用いて撮影される。画像は、基板 S の外縁 233 を識別するように、本明細書に記載されるなど、任意の適切な方法でコントローラ 199 によって処理され、ここで、外縁 233 の少なくとも部分的な画定は、画像に基づいてコントローラ 199 によって実施される。

【0025】

上で簡潔に述べたように、図 5 も参照すると、基板スタック 270 の各保持スロットに関して（（1 つまたは複数の）保持スロット（ n 、 $n+1$ 、 $n+2$ 、...；各々が SEMI（登録商標）規格で規定されているようなロードポート基準位置に対して所定の高さを有する）が、基板キャリア 110 または他の基板支持部によって画定され、基板 S 間の所定の距離またはピッチで基板スタック 270 におけるそれぞれの基板 S を支持するように配置されていることに留意）、各基板 S の縁部のデータ（たとえば、図 5 を参照）は、以下の例示的な基板マッピング規則に基づいて保持スロットにおける基板 S の状態を決定するものである：

基板の縁部 500（画像内の基板の縁部 500 は基板のスタック 270 における基板 S の外縁 233 である）が画像内で検出されない場合、任意の所与の保持スロットについての基板 S の状態は存在しない（すなわち、基板が存在しない）；

単一の基板の縁部 500 が画像内で検出されるか、または（基板の縁部 500 を示唆する）形状線が保持スロットのベースライン 510 と重なるように画像内で検出される場合、任意の所与の保持スロットにおける基板 S の状態が存在する（すなわち、単一の基板が保持スロットに存在する）；

2 つの基板の縁部 500 が画像内で検出されるか、または画像内で検出された基板 S の厚さが、たとえば、予想される基板厚さの 2 倍（または任意の適切な倍数）である場合、任意の所与の保持スロットにおける基板 S の状態は二重である（すなわち、2 つの基板 S が同じ保持スロットにおいて上下に配置される）；

（基板の縁部 500 を示唆する）形状線が保持スロットのベースライン 510 と平行でない場合、任意の所与の保持スロットにおける基板 S の状態は交差している（すなわち、図 5 のスロット $n+2$ および $n+3$ などの、1 つの基板が 2 つのスロットにわたって配置される交差スロット）；

（基板の縁部 500 を示唆する）形状線が、スロットのベースライン 510 に平行であるが、垂直方向にシフトされる（このような平行性は、少なくとも 1 つのカメラ 210 がある角度から（すなわち、基板 S の上または下から）基板 S を見るときに検出可能である）場合、任意の所与の保持スロットにおける基板 S の状態はシフトまたは傾斜させられている（すなわち、基板は保持スロット内の名目上の位置から滑り落ちている）。

各保持スロットにおける各基板 S の状態と一緒にマップ 280 を形成することが留意される。

【0026】

図 2 A、2 B、2 C および 3 A を参照すると、本開示の態様に従って、少なくとも 1 つのカメラ 210 は、近平面 300 および遠平面 301 の 1 つまたは複数に取り付けられる。近平面 300 が基板キャリア 110 に隣接している（たとえば、ロードポート 120 に着座している）一方で、遠平面 301 は基板キャリア 110 からさらに離されている。近平面 300 は、基板キャリア 110 内に積み重ねられた基板 S のすべてが中に捕捉される

状態で基板キャリア110の開口部399に最も近く、広角レンズ（図3Cを参照）が備え付けられたカメラ210の視野FOWVを実質的に満たす、任意の適切な距離Y1にある。遠平面301は、基板キャリア110内に積み重ねられた基板Sのすべてが中に捕捉される状態で基板キャリア110の開口部399に最も近く、望遠レンズ（図3Dを参照）が備え付けられたカメラ210の視野FOVTを実質的に満たす、任意の適切な距離Y2にある。理解され得るように、距離Y1、Y2は、基板スタック270の高さと、それぞれの広角レンズおよび望遠レンズの焦点距離に基づいて決定することができる。本開示によれば、X方向における少なくとも1つのカメラ210の取り付け位置は、基板スタック270の垂直（Z軸）の中心線371に実質的に沿っている（明確にするために図3Aには示されていないが、基板キャリア110の垂直の中心線と実質的に一致している）が、他の態様では、少なくとも1つのカメラ210は、垂直の中心線371の1つまたは複数の側部（たとえば、左または右）に取り付けることができる。Z方向における少なくとも1つのカメラ210の取り付け位置は、基板キャリア110の水平中心平面370（X-Y平面）と実質的に一列に並び得るが、他の態様では、少なくとも1つのカメラ210は、中心平面370の上または下に取り付けることができる。図2Bは、水平中心平面370と一列に取り付けられた単一のカメラ210を例示し、一方で、図2Cは、水平中心平面370に取り付けられたカメラ210B、水平中心平面370の上に取り付けられたカメラ210A、および水平中心平面370の下に取り付けられたカメラ210Cを例示している（図2Bおよび2Cが近平面300および遠平面301に関して包括的であることに留意）。他の態様では、より多くのまたはより少ないカメラが使用されてもよい。本明細書に記載される1つまたは複数のカメラは、概して、（単一のカメラまたはカメラ210A、210B、210Cのシステム／アレイなどを包含する）少なくとも1つのカメラ210と呼ばれる。

【0027】

1つまたは複数の態様では、少なくとも1つのカメラ210の少なくとも1つは、基板スタック270を斜め上向き方向に撮像するように下部中央位置LCに取り付けられる。下部中央位置LCでは、結果として得られる画像は、たとえば、（キャリア110の内部からなどの）環境反射および／またはダイグリップパターンを含み得る基板の上面に起因するバックグラウンドノイズを実質的に排除する。ここで、基板は、位置（たとえば、上部左UL、上部中央UC、上部右UR、中間左ML、中間中央MC、中間右MR、下部左LL、下部中央LC、および下部右LR）の1つまたは複数から照明される。1つまたは複数の態様では、少なくとも1つのカメラ210の少なくとも1つは上部中央位置UCに取り付けられ、基板スタックは、少なくとも基板の上面からのバックグラウンドノイズまたは基板の上面の撮像が抑制される（たとえば、開示全体が引用により本明細書に組み込まれる、2019年9月13日に出願され、「Method and Apparatus for Substrate Alignment」と題された米国特許出願第16/570,453号に記載される方法に類似した方法で、基板の上面が投影される）ように、下部位置LL、LC、LRおよび中間位置ML、MC、MRの1つまたは複数から照明される。1つまたは複数の態様では、少なくとも1つのカメラ210の少なくとも1つは中間中央位置MCに取り付けられ、基板スタック270は下部位置LL、LC、LRの1つまたは複数から照明されて、少なくとも基板Sの上面からのバックグラウンドノイズまたは基板の上面の撮像を抑制する。さらに他の態様では、少なくとも1つのカメラ210は、近平面300および／または遠平面301上の任意の数および組み合わせ（少なくとも1つのカメラ210が複数のカメラを含む場合など）の取り付け位置UL、US、UR、ML、MC、MR、LL、LC、LRに配置され得るが、少なくとも1つのカメラ210が近平面300上の中間中央位置MCに取り付けられる場合、少なくとも1つのカメラ210はロードポートのロードポートドア120Dに取り付けられ、それにより、少なくとも1つのカメラは、基板カセット110との間で基板移送経路からロードポートドアを用いて移動させられる。ここで、少なくとも1つのカメラ210は、ロードポートドア120Dが移動してロードポート／基板キャリアを開閉するときに、基板スタック270を（1

10

20

30

40

50

つまたは複数の画像で) 撮像する。

【0028】

図1A~1Cおよび2Cを参照すると、少なくとも1つのカメラ210は、(基板スタック270に対して静止するように) 基板処理装置100、150、165の内部の固定位置に取り付けられる(図1A~1Cを参照)。少なくとも1つのカメラ210は、基板処理装置100、150、165の可動コンポーネント(たとえば、ロードポートドア120Dおよび/または基板搬送装置180)に取り付けることもできる(図1A~1Cを参照)。ここで、可動コンポーネントは、基板スタック270を撮像するために、近平面300および/または遠平面301上の所望の位置UL、US、UR、ML、MC、MR、LL、LC、LRに少なくとも1つのカメラ210を位置づける。図2Cは、複数のカメラ210A、210B、210Cを含むカメラアレイ277が基板搬送装置180上に配置されている例を例示している。ここで、カメラアレイ277は、基板搬送装置180の(本態様ではZ駆動部コラム830である) 共通の支持部244上に配置される(ここで、「共通の支持部」とは、カメラが単一の支持部を共有するように、カメラアレイ277における各カメラが取り付けられる単一の支持部を指す)が、他の態様では、カメラアレイ277は、移送チャンバ130において静止して取り付けられる場合、基板処理装置100、150、165の任意の共通の支持部に取り付けられ得、カメラアレイは、移動可能に取り付けられる場合、基板処理装置100、150、165の任意の移動可能な構造に取り付けることができる。各カメラ210A、210B、210Cは、共通の支持部244に固定される(またはそれに対して固定される)。共通の支持部244は、カメラアレイ277の各カメラ210A、210B、210Cに対して静止している(すなわち、カメラ210A、210B、210Cと共通の支持部との間に相対運動はない)。

【0029】

一態様では、任意の適切なカメラコントローラ278が、基板搬送装置180に配置され、コントローラ199などの任意の適切なコントローラによって調整される一方で、他の態様では、カメラコントローラ278はコントローラ199に組み込まれる。1つまたは複数の態様では、少なくとも1つの照明器220は、基板搬送装置180に、または基板処理装置100、150、165内の静止位置に取り付けられる。

【0030】

少なくとも1つのカメラ210、およびいくつかの態様では、少なくとも1つの照明器220が、基板搬送装置180に取り付けられる場合、基板搬送装置180は、基板スタック270が保持される基板処理装置100、150、165内の任意の所望の位置にマシンビジョンシステム200の少なくとも一部を搬送する。少なくとも1つのカメラ210、およびいくつかの態様では、少なくとも1つの照明器220を基板搬送装置180に取り付けることによって、(基板キャリア110が保持され、基板スタック270がマッピングされている、複数のロードポートを基板処理装置100、150、165が有する場合などに) カメラおよび照明器の数が減らされ得、ロボット環境(すなわち、基板処理装置100、150、165の内部)の構成に関係なく、少なくとも1つのカメラ210および少なくとも1つの照明器220の最適な位置づけ(たとえば、位置UL、US、UR、ML、MC、MR、LL、LC、LRの任意の1つまたは複数における近平面300および/または遠平面301の遮るもののない視野)が提供され得る。

【0031】

図2Cに例示される例では(図8Aおよび8Bも参照)、各カメラ210A、210B、210Cは、視野FOVA、FOVB、FOVCが基板キャリア110の中心平面370に平行なまたはそれに沿った方向に(たとえば、基板搬送エンドエフェクタの伸長軸に対して垂直に) 伸長するように、基板搬送装置180のZ駆動部コラム830上に配置される。ここで、視野FOVA、FOVB、FOVCは、開口部888に対して共通の位置CP((図8B参照) ここで、「共通の位置」とは、共通の支持部244に取り付けられたカメラ210A、210B、210Cが共通の支持部244の単一の位置に依存するような、基板搬送装置の単一の位置を指す)にZ駆動部コラム830が移送アーム180T

A（図8A）によって位置づけられた状態で開口部888を介して、基板キャリア110の異なる別個の部分（たとえば、図2Cの領域RA、RB、RC、および図6Eの代表的な対象の領域（すなわち、領域RA、RB、RCのいずれか1つ））を見るためにZ駆動部コラム830（すなわち、共通の支持部244）上に位置づけられる。各々の異なる別個の領域RA、RB、RCは、少なくとも1つまたは複数の基板Sを保持するための基板スロットを有し、Z軸駆動部830が共通の位置CPにある状態で各々の他のカメラ210A、210B、210Cによって見られる領域／部分における少なくとも1つまたは複数の基板Sとは異なる基板Sを保持するための異なる基板保持スロットを有する基板キャリア110の部分とは別個で異なる。基板キャリア110において保持された各基板Sは、Z軸駆動部830が共通の位置CPにある状態でカメラアレイ277によって撮像される。いくつかの態様では、対応する異なる別個の部分の各々は、カメラアレイ277の1つのみのそれぞれのカメラ210A、210B、210Cによって撮像される（視野は重複し得るが、対応する異なる別個の部分の各々が、1つのみのそれぞれのカメラ210A、210B、210Cによって撮像されるように、画像が切り取られ得る一方で、他の態様では、視野は重複しない）。いくつかの態様では、対応する異なる別個の部分の対応するウェハスロットにおいて保持された少なくとも1つの基板Sは、カメラアレイ277の1つのみのそれぞれのカメラ210A、210B、210Cによって撮像される（再び、視野は重複し得るが、対応する異なる別個の部分の各々が、1つのみのそれぞれのカメラ210A、210B、210Cによって撮像されるように、画像が切り取られ得る一方で、他の態様では、視野は重複しないことに留意）。ここで、コントローラ199は、搬送アーム180TAに通信可能に連結され、搬送アーム180TAをフレーム800に対して移動させ（図8参照）、共通の支持部244を共通の位置CPに位置づける。

【0032】

カメラアレイ277のそれぞれのカメラ210A、210B、210Cによって見られる基板キャリア110およびその中の基板スタック270の各々の異なる別個の部分は、それぞれのカメラ210A、210B、210Cによって見られる所定の基準高さで垂直に分配された、別個の部分およびそれぞれのカメラ210A、210B、210Cに対応する、ウェハスロットの異なるセットを有する。所定の基準高さは、たとえば、基板キャリア110が着座しているロードポート120の基準位置から、基板キャリアのSEMI（登録商標）規格によって確立された異なる保持スロット数に対応する（本例では、25スロットの基板キャリアに対する）高さである。たとえば、それぞれのカメラ210A、210B、210Cの各視野FOVA、FOVB、FOVCは、基板キャリア110（およびその中の基板スタック270）の内部222のそれぞれの対象の領域RA、RB、RCを捕捉する。1つまたは複数の態様では、対応する異なる別個の部分の各々のそれぞれのカメラ210A、210B、210Cによって捕捉された画像は、各々の他のそれぞれのカメラ210A、210B、210Cによって見られる各々の他の異なる別個の部分を除く、基板キャリア110における各スロット内の各基板は、共通の支持部244が共通の位置CPにある状態でカメラアレイ277によって撮像される。本例では、基板キャリア110は25基板キャリアであり、対象の領域RCは保持スロット1～8に対応し、対象の領域RBは保持スロット9～17に対応し、対象の領域RAは保持スロット18～25に対応する。視野FOVA、FOVB、FOVCは、任意の所望の量を重複して、内部222を実質的に完全にカバーし得る（いくつかの態様では、画像情報の量を増加させ、結果として得られるマップ280の解像度を増大させ得る）が、他の態様では、本明細書に記載されるように、視野は、画像処理のために重複しない、または切り取られなくてもよい。本態様では、画像処理は、それぞれのカメラ210A、210B、210Cによって捕捉された各画像に対して本明細書に記載されるように実施され、コントローラ199は、それぞれの処理された画像を組み合わせ、基板キャリア110内の基板スタック270のマップ280を生成する。

【0033】

図2Cのカメラ210A、210B、210Cは、（たとえば、位置UC、MC、LC

10

20

30

40

50

において)上下に例示されているが、他の態様(固定して取り付けられたカメラにも適用される)では、一次元垂直(Z方向)のカメラアレイ、一次元水平(たとえば、X方向)のカメラアレイ、またはカメラの二次元アレイ(たとえば、X-Z平面内)のカメラアレイを形成するように任意の数の位置UL、US、UR、ML、MC、MR、LL、LC、LRに取り付けられ得る。理解され得るように、概して円形の基板の場合、開口部888を介して見たときの基板の左端FLおよび右端FR(図2Aを参照)では、基板の外縁233が少なくとも1つのカメラ210から離れて湾曲するにつれて照明が暗くなり得る。少なくとも1つのカメラ210によって得られた縁部の信号が任意の適切な所定の閾値を下回る場合、基板の追加の画像を、より長い露光時間および/またはより大きなカメラ開口で撮影することができる。理解され得るように、より長い露光時間および/またはより大きな開口は、画像内の基板の中央領域WCの過度の露光を引き起し得、ここで、いくつかの画像(低露光画像および高露光画像)は、限定されないが、高ダイナミックレンジ(HDR)アルゴリズムを含む任意の適切な画像処理アルゴリズムを使用して組み合わせられるか、または異なる画像の異なる垂直セグメントを組み合わせ、結果として基板の縁部233を強調する均一な露光を有する画像が生成される。このように、位置UL、US、UR、ML、MC、MR、LL、LC、LRのさまざまな位置に配置されたカメラは、基板スタック/基板キャリアのさまざまな領域に対して最適化されたさまざまな開口サイズおよび/または露光速度でプログラムされ得る。たとえば、少なくとも1つの照明器220により近いカメラは、基板の縁部の検出を妨げ得る画像の過度の露光を実質的に防止するように、少なくとも1つの照明器220から遠いカメラよりも遅い露光速度および/または小さい開口を有し得る。理解され得るように、さまざまな位置にあるカメラの露光速度および/または開口サイズは、結果として得られる組み合わせられた画像が、実質的に画像全体にわたる画像内の一貫した露光および特徴のコントラストを有するように判定され得る(図4Aを参照)。

【0034】

図2A、3B、および7を参照すると、基板Sは少なくとも1つの照明器220(本明細書では照明源とも呼ばれる)によって照明され、画像は、たとえば、縁部500を強調する高コントラストの画像を生成するために、基板の縁部500に対応する画像内の信号が最大化され、(基板Sを取り囲む環境、基板Sの上部/底部、基板S上の任意のダイグリッドパターンなどを含む)バックグラウンドに対応する画像内の信号が最小化されるような方法で、少なくとも1つのカメラ210によって捕捉される。高コントラストの撮像の一例は、前に引用により本明細書に組み込まれた、米国特許出願第16/570,453号に記載されている。また本明細書に記載されるように、少なくとも1つの照明器は、(基板の短辺から見たときに(たとえば、幅Wが基板保持位置に保持された(1つまたは複数の)基板Sの可視幅である図4Aを参照))各基板Sの幅Wにわたって拡散照明を提供するように構成されている。理解され得るように、少なくとも1つの照明器220は、カメラ210、210A、210B、210Cに関して本明細書に説明される方法に略類似した方法で、基板処理装置100、150、165内に位置づけられ得る。

【0035】

例として、図2A、2B、2C、3B、および8Aを参照すると、少なくとも1つの照明器220は、共通の支持部244に接続され、共通の支持部244が共通の位置CPにある状態で開口部888を介して、基板キャリア110における各基板Sの外縁233(基板キャリア110に関するものである「外(outer)」という用語は、開口部888を介して見ることが可能な基板の縁部の部分を指す)を照明するように構成されている(図2A~2Cを参照)。外縁233は、それぞれの基板Sの外縁233の上縁境界233Uおよび下縁境界233L(図2Aを参照)を定める。少なくとも1つの照明器220は、外縁233が、反射された縁部の照明を少なくとも1つの照明器220からカメラ210、210A、210B、210Cに方向づけ、かつ、共通の支持部244が共通の位置CPにある状態で開口部888を介して各カメラ210、210A、210B、210Cによって見られるバックグラウンド反射光を、上縁境界233Uおよび下縁境界233

Lで、光学的に見えなくするように、各カメラ210、210A、210B、210Cに対して配置される。少なくとも1つの照明器220は、基板キャリア110に挿入された（またはそうでなければ保持された）基板Sおよび各々の他の基板Sの平面SP1、SP2（たとえば、上部および底部の主平面）から反射された光が、基板キャリア110の異なる別個の部分のそれぞれのカメラ210A、210B、210Cによって各画像（たとえば、図4Aおよび6B～6Eに例示される画像を参照）において光学的に見えなくされるように、それぞれのカメラ210A、210B、210Cに対して配置される。たとえば、図6Eの対象の領域は、図2C（図16Aおよび16Bも参照）の領域RA、RB、RCのいずれか1つまたは複数を例示するものであり、ここで、各カメラ210A、210B、210Cからの画像は、基板キャリア110における基板Sおよび各々の他の基板Sの平面SP1、SP2から反射された光（およびキャリアの任意のバックグラウンド）が光学的に見えなくされる、それぞれの視野FOVA、FOVB、FOVCの一部を（視野が、捕捉された画像よりも大きくなり得るが）撮像するものである。ここで、基板Sの外縁233は、共通の支持部244が共通の位置CPにある状態で基板キャリア110における各基板Sの縁部の検出をもたらすように、各カメラ210、210A、210B、210Cによって登録された、縁部の反射と光学的に見えなくされたバックグラウンドとによって、およびそれらの間に形成された、画像コントラストにおいて上縁境界233Uおよび下縁境界233Lを浮き彫りで（in relief）画定するか、またはそうでなければ定める（たとえば、図6A～6Cを参照）。

【0036】

図2Aおよび3Bに例示されるように、一態様では、少なくとも1つの照明源220は、少なくとも1つの成形された照明ライン369である。例示される例では、成形された照明ライン369は、上部および下部の位置の1つまたは複数における近平面300に配置されるが、他の態様では、成形された照明ライン369は、上部および下部の位置の1つまたは複数における遠平面301または近平面300および遠平面301の1つまたは複数の中間位置に配置することができる。成形された照明ライン369は、基板キャリア110内に保持された基板Sの外縁233に対応する形状を有するが、他の態様では、成形された照明ライン369は、本明細書に記載される方法で基板Sを照明するための任意の適切な形状を有し得る。

【0037】

図8Aおよび8Bを参照すると、少なくとも1つの照明器220は、少なくとも1つの垂直（Z軸）に配向された照明器220V1、220V2および少なくとも1つの水平に（X-Y平面に）配向された照明器220Hを含む。ここで、カメラ210A、210B、210C（3つが示されているが、2つまたは3つ以上の異なる別個のキャリア領域を撮像する、2つまたは3つ以上のカメラがあってもよい）は、上部中央位置UC、中間中央位置MC、および下部中央位置LCに配置され（図3Aおよび3Bを参照）、2つの真っすぐな照明ラインを形成するように、それぞれ、右上位置URから右下位置LRまでおよび左上位置ULから左下位置LLまで延びる2つの照明器220V1、220V2によって跨られる。照明器220Hは、任意の適切な角度 β から各基板Sの外縁233を照明するようにカメラ210A、210B、210Cの上に配置される（図8Bに例示される例では、角度 β はX-Y平面に相対的であるが、他の態様では、角度はZ軸に相対的であり得る）。ここで、照明器220Hは、（たとえば、キャリアの内部、基板の上部、または基板の底部から）バックグラウンド反射を実質的に防ぐか、またはそうでなければ見えなくするような方法で、カメラ210A、210B、210Cがキャリア110から滑り落ちた基板S1を検出し、一方で、照明器220V1、220V2が外縁233を照明するように、基板Sを照明するように位置づけられる。

【0038】

一態様では、図7Aおよび7Bも参照すると、照明器220V1、220V2は、拡散光を、開口部888を通して基板Sの縁部233を照明するためにX-Y平面内の任意の適切な方向（すなわち、任意の適切な角度）に方向づけるように配置される（図7Aを参

10

20

30

40

50

照)。例示目的で、図 7 B に例示されるように、照明器 220V1、220V1 は、拡散光を、開口部 888 の平面 888P に対して斜めである 1 つまたは複数の方向に照らすように配置される。示される例では、照明器は、光を、任意の適切な角度 α だけ基板キャリア 110 の中心線 110C に対して外側に角度を付けた方向に照らす。示される例では、角度 α は、両方の照明器 220V1、220V2 について同じであるが、他の態様では、照明器 220V1 についての角度 α は、照明器 220V2 についての角度 α とは異なり得る。ここで、照明器 220V1、220V2 からの光は、光が、基板キャリア 110 の基板保持スロットのすべてにおいて基板 S に到達し、垂直に隣接する基板によって遮断されないように、垂直に配置される。本態様では、照明器 220V1、220V2 からの光は、光が、反射面 750、751 によって基板 S の縁部 233 上に反射される（ここでは間接光）ように、移送チャンバ 130 内の反射面 750、751 に方向づけられて、カメラ 210A、210B、210C によって見られる基板キャリア 110 の内部からの反射を実質的に排除する。他の態様では、照明器 220V1、220V2 には、カメラ 210A、210B、210C によって見られる基板キャリア 110 の内部からの反射を実質的に排除する方法で間接光または拡散光を基板の縁部 233 に提供するディフューザまたは他の光散乱装置が設けられる。対応する異なる別個の領域／部分 RA、RB、RC においてカメラ 210A、210B、210C の各々によって撮像される結果として得られる効果は、基板の縁部の反射が、各々の基板の縁部の境界を画定するバックグラウンドを画像コントラストにおいて浮き彫りで光学的に見えなくすることである。

【0039】

照明器 220、220V1、220V2、220H、369 は、1 つまたは複数の態様において、動的に制御される（たとえば、オンおよびオフにされる）および／または（たとえば、強度が）調整されるようにコントローラ 199 に連結される。コントローラ 199 は、撮像されている基板スタック 270 のさまざまな部分を別個にまたは組み合わせて照明する（たとえば、上部セクションと中間セクションの両方、上部セクションと下部セクションの両方を略同時に照明するなど、上部セクション、下部セクション、中間セクション、またはそれらの任意の組み合わせを別個に照明する、またはセクションが別個にまたは組み合わせて照明される任意の適切なシーケンスでさまざまなセクションの 1 つまたは複数を照明する）ように照明器 220、220V1、220V2、220H、369 の 1 つまたは複数、またはそれらの（1 つまたは複数の）部分を循環させるように構成されている。コントローラ 199 は、照明器 220、220V1、220V2、220H、369 の 1 つまたは複数からの照明の強度を静的な強度（たとえば、略一定した強度）として維持するか、または強度を動的に変化させるように構成されている。照明器 220、220V1、220V2、220H、369 の 1 つまたは複数の強度が動的に変化させられる場合、強度は、照明器 220、220V1、220V2、220H、369 の X 方向、Y 方向、および／または Z 方向に沿って変化し得るが、これには、カセット 110 の異なる側の異なる照明強度が含まれる。1 つまたは複数の態様では、強度の動的変化は規則的（たとえば、各基準線に関して、照明が、カセット 110 のスロットごとに基準線（たとえばベースライン）で高く、スロット基準線から離れて減少する（たとえば低い）、高ー低などの規則的なシーケンスで）であり得る。他の態様では、照明は、一連のスロット基準線のそれぞれのスロット基準線で高ー高ー高ー低など不規則に動的に変化し得る。さらに、画像コントラストを高めるために、さまざまなタイプの光スペクトルが、さまざまな照明器 220、220V1、220V2、220H、369 によって利用され得る（たとえば、赤外線、可視白色、可視色など）。各照明器 220、220V1、220V2、220H、369 は、コントローラ 199 によって、強度および光スペクトルの 1 つまたは複数に関して独立して制御され得る。

【0040】

ここで図 5、4A、4B、および 6A を参照すると、画像（たとえば、最終画像、元の画像、または再び組み合わされた画像）は、コントローラ 199 によって、外縁 233 の縁部プロファイルを画定するように処理される。理解され得るように、バックグラウンド

に対する基板 2 3 3 の外縁 2 3 3 のコントラストを高めるために、任意の適切な画像処理を画像に適用することができる。コントラストを高めるために画像に適用することができる画像処理の例としては、限定されないが、グレースケールフィルタ、コントラストストレッチング、および強度遷移エッジフィルタが挙げられる。強度遷移エッジフィルタの適用例が図 6 A に提供され、ここで、各外縁 2 3 3 は、（たとえば、各基板の上縁境界 2 3 3 U および下縁境界 2 3 3 L を表している）2 つの強度遷移で識別される。図 6 A に見られるように、上下に配置された（すなわち、「二重」状態の）2 つの基板は、基板キャリア 1 1 0 の基板保持スロット 1 3 に配置されている。

【0041】

基板の縁部プロファイルは、（任意の適切な縁部構築／（1 つまたは複数の）画像処理アルゴリズムを介して）生のビュー／プロファイルで生成される。空間補正アルゴリズムは、少なくとも 1 つのカメラ 2 1 0 の位置から独立した（基板 S をピックアップするためにエンドエフェクタ 1 8 0 E の位置を命令するときにコントローラによって利用される）真の基板の縁部プロファイルを生成するために、空間較正データを使用して生のプロファイルに適用される。ここで、複数のカメラ光学認識システム（本明細書に記載されるものなど）は、異なるカメラによって撮影された画像内の異なる生のプロファイルから実質的に同一の真のプロファイル 5 0 0 T を生成する。

【0042】

コントローラ 1 9 9 にプログラムされた縁部を画定するアルゴリズムは、基板マッピングおよび縁部プロファイルの画定に関して同じである。1 つまたは複数の態様では、画像の垂直画像スライス 4 1 0 ~ 4 1 6 が、外縁 2 3 3 を検出するために分析される。基板マッピングは、垂直スライス 4 1 0 ~ 4 1 6 の 1 つまたは複数を用いて実施され得、ここで、縁部プロファイルの画定は、垂直スライス 4 1 0 ~ 4 1 6 の複数のスライスを用いて実施される。図 4 A には、7 つの垂直スライスが例示目的のみで例示され、他の態様では、7 つよりも多いまたは少ないスライス（または 2 つまたは 3 つのスライス）が利用され得ることが留意される。マッピングおよび縁部プロファイリングのために基板 S の縁部 2 3 3 を画定するべく、画像 4 9 9 は垂直スライス 4 1 0 ~ 4 1 6 にスライスされ、これらは、画像 4 9 9 の幅 4 9 9 W に対する所定の位置で撮影された画像 4 9 9 の狭い垂直ストリップである。スライス 4 1 0 ~ 4 1 6 ごとに、コントローラ 1 9 9 は、スライス 4 1 0 ~ 4 1 6 内の垂直位置に応じた強度プロファイル 4 8 0 を生成するために、水平方向 4 9 5（水平および垂直という用語は説明を参照および簡単にするためだけに使用されている）に沿って画像ピクセルの強度を平均化する。たとえば、スライス 4 1 0 のための強度プロファイル 4 8 0 は、図 4 B において、基板スタックの一部に関して例示され、ここで、（外縁 2 3 3 に対応する）各々の基板の縁部 4 3 3 は、バックグラウンドレベル 4 8 8 にわたってピーク 4 8 9（明確にするために、その一部のみが図 4 B でラベル付けされている）によって識別される。各基板 S の厚さは、それぞれのピークベースの幅に基づいて判定することができ、ここで、図 4 B に見られるように、基板スタック 2 7 0 におけるスロット 1 3 に対応するピークのピークベースは、基板 S の予想される厚さのおよそ 2 倍の幅を有し（ここで、画像のピクセルサイズは、既知のサイズを有する基板カセットの特徴の画像認識などを介して任意の適切な方法でコントローラ 1 9 9 によってインチまたはミリメートルに変換することができる）、これは、同じスロットにおける上下の 2 つの基板 S（たとえば、図 5 に例示される「二重」状態）を示唆している。図 4 B にも見られるように、スロット 1 3 に対応するピーク 4 8 9 は、同じスロットにおける上下の 2 つの基板 S も示唆する「二重ピーク」を含む。

【0043】

基板スロットごとに、強度プロファイル 4 8 0 が確定され、ピーク 4 8 9 が判定されると、コントローラ 1 9 9 は、どのピークが、それぞれの基板保持スロットのための所定のベースライン高さ（基板が保持されるカセット内の所定の垂直位置、すなわちスロットの高さ）に最も近く垂直に配置されるかを検索／判定する。ここで、ピークは、基板がそれぞれの基板保持スロットに保持されているかどうかを判定するように、基板スロットの高

10

20

30

40

50

さと相関させられる。ピークが発見され、基板保持高さに相関させられる場合、強度プロファイル480のピークに沿った位置は、それぞれの基板保持スロットにおける基板の生の縁部プロファイルを形成する。たとえば、スロット18の高さは図4bで識別され、ここで、ピーク489Aは、基板がスロット18に存在することを示唆するためにコントローラ199がピーク489Aをスロット18と相関させるように、スロット18の高さに対して実質的に中心に置かれる。任意の所与の基板Sの生の縁部プロファイル500T（図5）は、コントローラ199によって、強度プロファイル480における（生のプロファイルの）データ点ごとの（画像スライスの同じ水平位置にあるその所与の基板Sに対する）生のプロファイルの垂直位置から（画像スライスの水平位置での）較正されたベースラインの垂直位置を差し引くことによって判定される。所与の基板Sの厚さは、コントローラ199によって、それぞれの生のプロファイルに関するすべてのデータ点から測定された厚さの平均であると判定される。

【0044】

1つまたは複数の態様では、図6B、6C、および6Dを参照すると、縁部を画定するアルゴリズムは、（たとえば、コントローラ199を用いて）少なくとも1つのカメラ210からの生画像を中間領域600M、左領域600L、および右領域600Rに分割することを含む。左領域600Lは照明器220V2によって実質的に照明され、右領域600Rは照明器220V1によって実質的に照明され、中央領域600Mは照明器220Hによって実質的に照明されるが、他の態様では、領域600M、600L、600Rは、本明細書に記載される照明器のいずれか1つまたは複数によって任意の適切な方法で照明され得る。ここで、上述の状態は、中間領域600M、左領域600L、および右領域600Rの各々に対して（たとえば、画像強度プロファイルに関して上記した方法に類似した方法で）判定される。基板キャリア110から滑り落ちた基板の下に（またはカメラおよび／または照明角度に応じて上に）配置された基板は、滑り落ちた基板によって視界から隠され得、中間領域600Mで検出されないことがあるが、これらの隠された基板は、左領域600Lおよび右領域600Rで検出可能である（図6Bを参照）。図6Bに例示されるように、（「（滑り落ちた）検出されたウェハ」として識別される）画像の上から4番目の基板（またはウェハ）は、基板キャリア110から滑り落とされており、光が中間領域600Mにおける滑り落ちた基板の下の基板を照らすことを遮断しているが、滑り落ちた基板の下の基板は、左領域600Lおよび右領域600Rで見ることが可能である。ここで、図6Bに例示されるように所与のスロットについて左領域600Lおよび右領域600Rの両方で基板が検出される場合に、その所与のスロットについて基板が検出される（すなわち、存在すると識別される）。任意の所与のスロットについて中間領域600Mで検出されたが、左領域600Lおよび右領域600Rでは検出されなかった反射が、不在であるとマッピングされる（たとえば、空のスロット）（図6Cを参照）。図6Cに見られるように、中間領域600Mにおける反射が存在するが、左領域600Lおよび右領域600Rの両方に対応する反射がない基板保持スロットに対応する画像内の領域は、空のスロット（すなわち、基板が不在）であるとしてマッピングされる。

【0045】

図6Dは、中間領域600M、左領域600L、および右領域600Mで検出された基板の縁部を例示する、（本明細書に記載されるものなどの任意の適切な画像処理を使用して）コントローラ199によって最適化された遠平面301の中間中央MCに位置する少なくとも1つのカメラ210によって捕捉された画像を例示する。コントローラ199は、図6Eに例示されるように捕捉された画像内の（中間領域600M、左領域600L、および右領域600Mの各々を含む）任意の適切な対象の領域において基板の縁部を（本明細書に記載されるものなどの任意の適切な画像処理を介して）検出するように構成されている。図6Fに見られるように、コントローラ199は、基板の存在を判定するために中間領域600M、左領域600L、および右領域600Mの各々において（コントローラに知られているスロット境界を有する基板キャリア110の基板保持スロットに対応する）検出された縁部を接続するように構成されている。

【0046】

図6Bおよび6Cの中間領域600M、左領域600L、および右領域600Rの1つまたは複数は、本明細書に記載されるように基板の反り／曲がりを検出するために利用される。

【0047】

縁部画定アルゴリズムにおけるこの点で、上記の例示的な基板マッピング規則を利用することによって基板カセット110における基板Sの状態の基板マッピングを実施するのに十分なデータが得られる。

【0048】

基板の縁部プロファイリングのために、基板のピックアップを妨げ得る基板の反り／曲がりを判定するために（マッピングのために取得されたデータに加えて）さらなるデータが所望されることが留意される。上述のように、基板の生のプロファイルは、基板を撮像する少なくとも1つのカメラ210の位置に依存し得る。コントローラ199は、生のプロファイルに空間補正を適用する（図5を参照）ことによって生のプロファイルをカメラに依存しない補正された真のプロファイル500TCに変換する（図10～13を参照）ように構成されている。真の（縁部）プロファイルと比較した生の（縁部）プロファイルの例は、図9A～9Cに提供されている。図9Aは、基板スタック270における各基板Sの真の縁部プロファイル500Tを例示している。真の縁部プロファイル500Tは、遠平面301（図3Aおよび3B）に位置づけられ、中間中央位置MCに配置された（望遠レンズを備えた）カメラ210の生画像と実質的に同等である。例示目的のみで、望遠レンズは、約100mm以上の焦点距離を有し、フルフレームカメラ（すなわち、35mmのフォーマットフィルムと同じサイズの画像センサフォーマットを備えたカメラ）を用いて利用されるレンズであるが、他の態様では、望遠レンズの焦点距離は、約100mmより長くても短くてもよい。ここで、三次元から二次元への投影の方向が基板平面に略平行であるため、基板の縁部の湾曲した形状は明らかではない。図9Bは、中間中央位置MCで近平面300に位置づけられた（広角レンズを備えた）カメラ210の生画像を例示している。例示目的のみで、広角レンズは、約28mm以下の焦点距離を有し、フルフレームカメラを用いて利用されるレンズであるが、他の態様では、広角レンズの焦点距離は、約28mmより長くても短くてもよい。図9Cは、基板スタック270において基板Sに向かって（ある角度で）上方に向けられた視野で近平面300の下部中央位置LCに配置された（広角レンズを備えた）カメラ210の生の画像の図である。図9Dは、基板スタック270において基板Sに向かって（ある角度で）下向きに向けられた視野で近平面300の上部中央位置LCに配置された（広角レンズを備えた）カメラ210の生の画像の図である。ここで、（近平面300からの）広角レンズの生のビューは、三次元物体がカメラ視野の二次元画像平面に投影する効果を例示している。図9B～9Dから明らかなように、たとえばカメラ210への近接が原因で三次元から二次元への投影線がもはや平行でなくなると、基板の形状が見えるようになる。基板がカメラ位置から離れているほど、基板の三次元形状がより明確になる。（図9B～9Dに例示されるように）基板がカメラから離れて位置づけられると、視点も変化し、ここで、離れた距離にある基板は、カメラ210に対して、より近い距離にある基板よりも小さく見える。図9B～9Dの生画像内の基板はまた、広角レンズの特性から歪められ得る（たとえば、樽型歪み）。

【0049】

図9B～9Dにおいて上に例示された基板の縁部の歪みは、コントローラ199によって、空間較正データ281を生画像に適用することにより補正することができる。コントローラ199は、経験的方法で生のプロファイルを補正された真のプロファイル500TCに変換するように構成されており、補正された真のプロファイル500TCは、基板の反り／曲がりの判定、および反った／曲がった基板Sをピックアップおよび配置するためのエンドエフェクタ調整を提供する。経験的方法は、基板プロファイルを測定する際の実行時の初期空間較正および空間補正を含む。

【0050】

コントローラ 199 は、カメラアレイ 277 に通信可能に連結され、それぞれのカメラ 210 A、210 B、210 C のためのベースライン画像（図 5 および 10 に例示されるベースライン 510 を参照し、ここで、それぞれの基板キャリア 110 のスロットについての各ベースライン 510 はベースライン画像を集合的に形成する）を有する、各々のそれぞれのカメラ校正（本明細書では空間校正データ 281 とも呼ばれる）でプログラムされる。ベースライン画像の例は、図 15 A、15 B、15 C、および 15 D に提供されている（これらのベースライン画像が、例示目的のみで、図 9 A、9 B、9 C、および 9 D の生および真のプロファイルに対応することに留意）。各々のそれぞれのカメラのためのベースライン画像 210 A、210 B、210 C（図 15 A～15 D は、4 つのカメラのためのベースライン画像を例示しており、1 つは遠平面 301 の中央中間 CM に位置し、3 つは近平面の中央中間 CM、上部中央 US、および下部中央 LC に位置している）は、（図 15 A～15 D で明らかなように）各々の他のそれぞれのカメラ 210 A、210 B、210 C のベースライン画像とは異なり、それぞれのカメラ 210 A、210 B、210 C によって撮像された基板キャリア 110 の対応する別個の異なる部分（図 2 C の領域 RA、RB、RC および図 6 E の対象の領域を参照）の少なくとも 1 つの対応するスロットの各々における少なくとも 1 つの基板 S の各々のための所定のベースライン特性を画定する。本明細書に記載されるように、コントローラ 199 は、各々のそれぞれのカメラ 210 A、210 B、210 C の空間校正データ 281 を（任意の適切なメモリなどに）登録するように構成され、それぞれのカメラ 210 A、210 B、210 C のベースライン画像を特徴付ける校正ウェハ 1500 が、対応する別個の異なる部分の少なくとも 1 つの対応するスロットの各々に配置され、コントローラ 199 によって登録されたそれぞれのカメラ 210 A、210 B、210 C のベースライン画像を画定するそれぞれのカメラ 210 A、210 B、210 C で撮像される。

【0051】

図 10～13 も参照すると、初期の空間校正は、真のプロファイル 500 T および基板スタック 270 内の位置が知られている平坦な基板（たとえば、平坦であり、曲がり／反りが無いことが知られている校正ウェハ 1500）の生のプロファイルを捕捉することによって得られる。生のベースラインまたは校正画像は、それぞれのカメラ 210 A、210 B、210 C ごとに空間校正データ 281（図 2 A 参照）としてコントローラ 199（またはコントローラ 199 によってアクセス可能なメモリ 199 M）に保存される。基板保持スロットの各々に対応する校正ウェハ 1500 の縁部プロファイルは、たとえば、図 5 および 10～13 に例示される基板ごとにベースライン画像およびベースライン 510 位置（すなわち、ベースライン画像から得られた基板キャリアにおけるそれぞれの基板の予想される位置）を形成する。概して、空間校正は、カメラの設置後に実施され、最初の設置後にカメラの位置または角度が変更された場合は再実行される。1 つまたは複数の態様では、校正ウェハ 1500 は、（カセット 110 に略類似しているが、所定の位置に校正ウェハが中で固定されている）校正カセットと一体的に形成されるか、またはそうでなければ取り付けられる。ここで、校正ウェハ 1500 は、本明細書に記載される方法で校正画像においてスキャン／検出されるウェハの前縁を形成するようにキャリアに連結された部分ウェハであってもよい。ここで、校正カセットは、一体型の校正ウェハと共に、ユニットとしてロードポートに着座する校正ウェハラックを形成する。他の態様では、校正ウェハ 1500 は、一体型のウェハスタックにおける一体的に形成された校正ウェハ間の所定の間隔および垂直位置合わせで、ラックユニットとしてカセットに挿入されるウェハのスタックとして一体的に形成されてもよい。ここで、一体的に形成されたウェハのスタックは、ラックユニットとしてカセット 110 のスロットに着座し得る、および／またはそこから取り外され得る。

【0052】

実行時に、（マッピングおよび／または縁部プロファイリングなどのために）基板の縁部プロファイルが測定される場合に、コントローラ 199 は、生の画像／プロファイルに対して空間補正を実施し、ここで、空間校正データ 281 は、コントローラ 199 によ

て、基板の生のプロファイルを補正し、所与のスロットのためのベースライン 510 から所与のスロットにおける基板の生のプロファイルを差し引くことによって、補正された真のプロファイル 500TC を取得するように適用される（たとえば、ベースライン 510 からの測定された生のプロファイル 500 の任意の偏差は、補正された真のプロファイル 500TC（図 10 の右側を参照）で表されるような基板の曲がり／反りを表している）。
【0053】

本明細書に記載される空間補正は、少なくとも、近距離投影での（たとえば、近平面 300 での）広角レンズから遠距離での（たとえば、遠平面 301 での）望遠レンズの同等物への変換、撮像されている基板からのカメラの角度および距離に対応する視点効果の補正、広角レンズによって導入された樽型歪みの補正、およびカメラの取り付けにおける位置および方向の機械的変動の補正を提供する。縁部プロファイリングにおける空間補正の利用から得られた実験データが、図 11～13 に例示されており、これは、本明細書に記載される空間補正の有効性を例示している。図 11 は、基板カセット 110 の幅にわたる 3 つの基板の生のプロファイル 500 を例示している。図 12 は、図 11 の中間基板（たとえば、スロット 13 の基板）を例示している。図 13 は、反り／曲がりを示す、スロット 13 の基板の補正された真のプロファイル 500TC を例示している。さらに、空間補正が、垂直画像スライス 410～416 への画像のスライシングによって画像を処理する前または処理した後に適用され得ることが留意される。

【0054】

上述のように、基板プロファイルは、基板搬送装置 180 に基板をピックアップするよう命令するときにコントローラ 199 によって利用される。ここで、コントローラ 199 は、基板の下にティン挿入するのに十分なスペースがある場合などに、図 13 に例示される例示的な位置にティン 180TE1、180TE2 を配置することによって、（たとえば、図 13 のスロット 13 の基板などの）基板における任意の反り／曲がりに対応させるために、基板の補正された真のプロファイル 510TC に基づいて、ティン 180TE1、180TE2（図 1A を参照）間の距離 TD（図 1A を参照）を広げる／増大させるように基板搬送装置のエンドエフェクタ 180E に命令し得る。

【0055】

図 1A～1C、2A～2C、8A、8B、および 14 を参照すると、例示的な基板マッピング／縁部プロファイリングの操作が説明される。ロードポート 120 と連通している開口部 888（たとえば、ウェハロード開口部）を形成するフレーム 800 が設けられる（図 14、ブロック 1400）。本明細書に記載されるように、ロードポート 120 は、基板キャリア 110 を保持するように構成されており、基板キャリア 110 は、開口部 888 を通して基板処理装置 100、150、165 に積載するための基板キャリア 110 内に垂直に分配された複数の基板 S を保持する。搬送アーム 180TA（たとえば、可動アーム）が設けられ、開口部 888 に対して移動するようにフレーム 800 に取り付けられる（図 14、ブロック 1405）。記載されるように、搬送アーム 180TA は、基板を基板キャリア 110 から開口部 888 を通して基板処理装置 100、150、165 に積載する（およびその逆もしかり）ために搬送アーム 180TA に移動可能に取り付けられたエンドエフェクタ 180E を含む。

【0056】

マシンビジョンシステム 200（たとえば、画像取得システム）が設けられ（図 14、ブロック 1410）、これは少なくとも 1 つのカメラ 210 を含む。例示目的で、カメラアレイ 277 に関する方法が記載されるが、当該方法が単一のカメラによって捕捉された画像に等しく適用可能であることが理解されるべきである。上記のように、各々のそれぞれのカメラ 210A、210B、210C が、搬送アーム 180TA によって共通の支持部 244 が共通の位置 CP に位置づけられた状態で開口部 888 を介して、複数の基板 S の少なくとも 1 つの基板 S を保持するためのウェハスロットを有する基板キャリア 110 の異なる別個の部分を見るように配置された視野 FOVA、FOVB、FOVC で位置づけられ、基板キャリア 110 の異なる別個の部分は、共通の支持部 244 が共通の位置 C

Pにある状態で各々の他のカメラ210A、210B、210Cによって見られる、少なくとも1つの基板Sとは異なる基板Sを保持するための異なるウェハスロットを有する基板キャリア110の部分とは別個で異なり、基板キャリア110に保持された各基板Sは、共通の支持部244が共通の位置CPにある状態でカメラアレイ277によって撮像される。

【0057】

少なくとも1つの照明器220が設けられ(図14、ブロック1415)、これは共通の支持部244に接続される。上記のように、少なくとも1つの照明器は、共通の支持部244が共通の位置CPに有る状態で開口部888を介して、基板Sの外縁233の上縁境界233Uおよび下縁境界233Lを定める、基板キャリア110における各基板Sの外縁233を照明するように構成されている。少なくとも1つの照明器220は、各々のそれぞれのカメラ210A、210B、210Cに対して配置され、外縁233が、反射された縁部の照明を少なくとも1つの照明器220からそれぞれのカメラ210A、210B、210Cに方向づけ、かつ、共通の支持部244が共通の位置CPにある状態で開口部888を介してそれぞれのカメラ210A、210B、210Cによって基板キャリア110の別個の異なる部分の捕捉された画像において、バックグラウンド反射光を、上縁境界233Uおよび下縁境界233Lで、光学的に見えなくするように、各々のそれぞれのカメラ210A、210B、210Cによる、対応する別個の異なる部分(たとえば、図2Cの領域RA、RB、RCおよび図6Eの対象の領域を参照)の画像が配置される。本明細書に記載されるように、基板Sの外縁233は、共通の支持部244が共通の位置CPにある状態で基板キャリア110における各基板Sの縁部の検出をもたらすように、各カメラ210A、210B、210Cによって登録された、縁部の反射と光学的に見えなくされたバックグラウンドとによって、およびそれらの間に形成された、画像コントラストにおいて浮き彫りの上縁境界233Uおよび下縁境界233Lで画定される。

【0058】

基板キャリア110がロードポート120に着座した状態で、コントローラ199は、開口部888を介してキャリア110内の基板Sを撮像するために、移送アーム180TAが開口部888に対して位置づけられる(図14、ブロック1420)ように、移送アーム180TAの移動を命令する。基板Sは少なくとも1つの照明器220によって照明され、異なる別個の領域(たとえば、図2Cの領域RA、RB、RCを参照)における基板Sの画像が、カメラアレイ277によって開口部888を介して捕捉される(図14、ブロック1425)。各々の異なる別個の領域における基板の生画像が捕捉されると、コントローラ199は、基板マップの判定および基板の反り/曲がりの判定の1つまたは複数を実施するように構成されている。本明細書に記載されるように、基板のマッピングおよび反り/曲がりの判定は、その両方が判定されることが望まれる場合など、互いに対して任意の適切な順序で判定され得る。

【0059】

基板マッピングに関して、コントローラ199は、異なる別個の領域(たとえば、領域RA、RB、RC)の各々に関して本明細書に記載される方法で強度プロファイル480(図4Aおよび4Bを参照)を判定する。強度プロファイル480から、コントローラ199は、各々の異なる別個の領域および基板キャリア110全体のための基板マップ280を判定する(図14、ブロック1442)ように、本明細書に記載される方法で真の縁部プロファイル500Tを判定する(図14、ブロック1440)。基板の状態(たとえば、不在、存在、二重、交差、シフト)は、基板マッピングの規則を真の縁部プロファイル480に適用するための任意の適切な画像処理アルゴリズムの利用を介して、本明細書に記載されるように、基板マップ280からコントローラ199によって判定される(図14、ブロック1445)。図16Bを簡単に参照すると、コントローラ199は、隣接する異なる別個の領域の隣接する基板保持位置を比較して、たとえば、隣接する異なる別個の領域間に跨る交差スロットされた基板を判定するように構成されている。たとえば、図16Bに見られるように、異なる別個の領域RCおよびRBのそれぞれのスロット8お

よびスロット9は、互いに隣接しており、いくつかの態様では、スロット8とスロット9との間に交差スロットにされた基板が存在し得る。コントローラ199は、複数のカメラ210A、210B、210Cが異なる別個の領域RA、RB、RCで画像を捕捉するために利用される場合などに、基板キャリア110における基板マップ280および基板Sの状態を判定するときに、隣接する異なる別個の領域間の境界を形成するスロット（本例では、異なる別個の領域RCおよびRBを参照して、境界スロットはスロット8およびスロット9である）において本明細書に記載されるウェハマッピング規則を利用するように構成されている。

【0060】

異なる別個の領域で画像（たとえば、異なる別個の領域のそれぞれ1つをカバーし、組み合わせられて基板マップを形成する異なるカメラからの複数の画像）を捕捉することによって、単一の画像で基板キャリア110全体を撮像することと比較して、基板Sが撮像されるときに、基板Sの歪みが少なくなることが留意される。たとえば、図16Aは、それぞれの異なる別個の領域RA、RB、RCごとにカメラ210A、210B、210Cから捕捉された基板Sの生のプロファイル画像を例示し、図16Bは、それぞれの異なる別個の領域RA、RB、RCごとにカメラ210A、210B、210Cから捕捉された基板Sの真のプロファイル画像を例示している。異なる別個の領域RA、RB、RCの各々における基板プロファイルの歪みが、図9B～9Cの生のプロファイルと比較される場合、基板キャリア110におけるすべての基板Sを一度に撮像する単一のカメラと比較して、複数のカメラ210A、210B、210Cが、それぞれの異なる別個の領域RA、RB、RCを撮像するように利用されるときに、基板の（すなわち、生のプロファイルと真のプロファイルとの間の）歪みが少ないことが分かる。

【0061】

基板の反り／曲がりの判定に関して、基板カセット110が着座するロードポート120に関して各カメラ210A、210B、210Cのための空間較正データ281が存在しない場合、コントローラ199は、本明細書に記載される方法で各カメラ210A、210B、210Cのための空間較正データ281を取得／判定する（図14、ブロック1455）。コントローラ199は、本明細書に記載される方法でロードポート210上に着座する（異なる別個の領域の各々における）基板キャリア210に保持された基板Sの強度プロファイル480（図4Aおよび4Bを参照）を判定する（図14、ブロック1430）。空間較正データ281は、補正された真の縁部プロファイル500TCが、撮像された基板Sのために判定されるように、捕捉された画像に適用される（その撮像された基板は少なくとも強度プロファイル480を介して識別される）（図14、ブロック1460）。たとえば、カメラ210Aは異なる別個の領域RAに対応し、カメラ210Bは異なる別個の領域RBに対応し、カメラ210Cは異なる別個の領域RCに対応している。カメラ210Aのための空間補正データ281は異なる別個の領域RAに適用され、カメラ210Bのための空間補正データ281は異なる別個の領域RBに適用され、カメラ210Cのための空間補正データ281は異なる別個の領域RCに適用される。異なる別個の領域RA、RB、RCにおける基板の任意の基板反り／曲がりは、基板Sの補正された真の縁部プロファイル500TCから（本明細書に記載される画像処理などを用いて）任意の適切な方法でコントローラ199によって判定される（図14、ブロック1467）。反り／曲がりの判定は、コントローラ199によって、反った／曲がった基板Sをピックアップするためにエンドエフェクタタイン180ET1、180ET2間の距離TD（または間隔）（図1Aを参照）を調整するように利用される（図14、ブロック1470）。

【0062】

本開示の1つまたは複数の態様によれば、半導体ウェハマッピング装置は、基板キャリアのためのロードステーションと連通するウェハロード開口部を形成するフレームであって、基板キャリアが、ウェハロード開口部を介する積載のために基板キャリアに垂直に分配された複数のウェハを保持するように配置される、フレームと、ウェハロード開口部に

10

20

30

40

50

対して移動するようにフレームに移動可能に取り付けられた可動アームであって、可動アームが、ウェハロード開口部を介して基板キャリアからウェハを積載するために可動アームに移動可能に取り付けられた少なくとも1つのエンドエフェクタを有する、可動アームと、共通の支持部上に配置されたカメラのアレイを含む画像取得システムであって、各カメラが、カメラのアレイの各カメラに対して静止している共通の支持部に対して固定されており、各々のそれぞれのカメラは、可動アームによって共通の支持部が共通の位置に位置づけられた状態でウェハロード開口部を介して、複数のウェハの少なくとも1つのウェハを保持するためのウェハスロットを有する基板キャリアの異なる別個の部分を見るように配置された視野で位置づけられ、基板キャリアの異なる別個の部分は、共通の支持部が共通の位置にある状態で各々の他のカメラによって見られる、少なくとも1つのウェハとは異なるウェハを保持するための異なるウェハスロットを有する基板キャリアの部分とは別個で異なり、基板キャリアにおいて保持された各ウェハは、共通の支持部が共通の位置にある状態でカメラのアレイによって撮像される、画像取得システムと、共通の支持部に接続された照明源であって、照明源は、共通の支持部が共通の位置にある状態でウェハロード開口部を介して、ウェハの外縁の上縁境界および下縁境界を定める、基板キャリアにおける各ウェハの外縁を照明するように構成され、外縁が、反射された縁部の照明を照明源から各カメラに方向づけ、かつ、共通の支持部が共通の位置にある状態でウェハロード開口部を介して各カメラによって見られるバックグラウンド反射光を上縁境界および下縁境界で光学的に見えなくするように、照明源が、各カメラに対して配置されている、照明源と、を備え、ウェハの外縁は、共通の支持部が共通の位置にある状態で基板キャリアにおける各ウェハの縁部の検出をもたらすように、各カメラによって登録された、縁部の反射と光学的に見えなくされたバックグラウンドとによって、およびそれらの間に形成された、画像コントラストにおいて浮き彫りの上縁境界および下縁境界で画定される。

【0063】

本開示の1つまたは複数の態様によれば、カメラのアレイのそれぞれのカメラによって見られる各々の異なる別個の部分は、それぞれのカメラによって見られる所定の基準高さで垂直に分配された、別個の部分およびそれぞれのカメラに対応する、ウェハスロットの異なるセットを有する。

【0064】

本開示の1つまたは複数の態様によれば、半導体ウェハマッピング装置は、可動アームに通信可能に連結されて、可動アームをフレームに対して移動させ、共通の支持部を共通の位置に位置づけるコントローラをさらに備える。

【0065】

本開示の1つまたは複数の態様によれば、可動アームは、ウェハロード開口部を介してウェハを基板キャリアに積載するおよび基板キャリアから取り出すためのエンドエフェクタを有するウェハ搬送ロボットのアームである。

【0066】

本開示の1つまたは複数の態様によれば、照明源は、基板キャリアに挿入されたウェハおよび各々の他のウェハの平面から反射された光が、基板キャリアの異なる別個の部分のそれぞれのカメラによる各画像において光学的に見えなくされるように、それぞれのカメラに対して配置される。

【0067】

本開示の1つまたは複数の態様によれば、半導体ウェハマッピング装置は、基板キャリアのためのロードステーションと連通するウェハロード開口部を形成するフレームであって、基板キャリアが、ウェハロード開口部を介する積載のために基板キャリアに垂直に分配された複数のウェハを保持するように配置される、フレームと、ウェハロード開口部に対して移動するようにフレームに移動可能に取り付けられた可動アームであって、可動アームが、ウェハロード開口部を介して基板キャリアからウェハを積載するために可動アームに移動可能に取り付けられた少なくとも1つのエンドエフェクタを有する、可動アームと、共通の支持部上に配置されたカメラのアレイを含む画像取得システムであって、各カ

メラが、カメラのアレイの各カメラに対して静止している共通の支持部に対して固定されており、各々のそれぞれのカメラは、可動アームによって共通の支持部が共通の位置に位置づけられた状態でウェハロード開口部を介して、基板キャリアの各々の他の対応する異なる別個の部分における少なくとも1つの他のウェハスロットとは異なる少なくとも1つの対応するウェハスロットを各々が有する基板キャリアの対応する異なる別個の部分を見るように配置された視野で位置づけられ、対応する異なる別個の部分の各々は、対応する異なる別個の部分の各々のそれぞれのカメラによって捕捉された画像が、各々の他のそれぞれのカメラによって見られる各々の他の異なる別個の部分を除外するように、共通の位置からウェハロード開口部を介して、各々のそれぞれのカメラによって見られ、基板キャリア内の各スロットにおける各ウェハは、共通の支持部が共通の位置にある状態で、カメラのアレイによって撮像される、画像取得システムと、を備える。

10

【0068】

本開示の1つまたは複数の態様によれば、半導体ウェハマッピング装置は、共通の支持部に接続された照明源をさらに備え、照明源は、共通の支持部が共通の位置にある状態でウェハロード開口部を介して、ウェハの外縁の上縁境界および下縁境界を定める、基板キャリアにおける各ウェハの外縁を照明するように構成され、照明源が、各々のそれぞれのカメラに対して配置され、外縁が、反射された縁部の照明を照明源からそれぞれのカメラに方向づけ、かつ、共通の支持部が共通の位置にある状態でウェハロード開口部を介して、それぞれのカメラによって別個の異なる部分が捕捉された画像においてバックグラウンド反射光を上縁境界および下縁境界で光学的に見えなくするように、各々のそれぞれのカメラによる対応する別個の異なる部分の画像が配置されている。

20

【0069】

本開示の1つまたは複数の態様によれば、ウェハの外縁は、共通の支持部が共通の位置にある状態で基板キャリアにおける各ウェハの縁部の検出をもたらすように、各々のそれぞれのカメラによって登録された、縁部の反射と光学的に見えなくされたバックグラウンドとによって、およびそれらの間に形成された、画像コントラストにおいて浮き彫りの上縁境界および下縁境界で画定される。

【0070】

本開示の1つまたは複数の態様によれば、対応する異なる別個の部分の各々は、アレイの1つのみのそれぞれのカメラによって撮像される。

30

【0071】

本開示の1つまたは複数の態様によれば、対応する異なる別個の部分の対応するウェハスロットに保持された少なくとも1つのウェハの各々は、カメラのアレイのそれぞれのカメラの1つのみによって撮像される。

【0072】

本開示の1つまたは複数の態様によれば、半導体ウェハマッピング装置は、カメラのアレイに通信可能に連結されたコントローラをさらに備え、コントローラは、各々の他のそれぞれのカメラのベースライン画像とは異なる、それぞれのカメラのためのベースライン画像を有する、各々のそれぞれのカメラの較正でプログラムされ、ベースライン画像は、それぞれのカメラによって撮像された対応する別個の異なる部分の少なくとも1つの対応するスロットの各々における少なくとも1つのウェハの各々のための所定のベースライン特性を画定する。

40

【0073】

本開示の1つまたは複数の態様によれば、コントローラは、各々のそれぞれのカメラの較正を登録するように構成され、それぞれのカメラのベースライン画像を特徴付ける較正ウェハが、対応する別個の異なる部分の少なくとも1つの対応するスロットの各々に配置され、コントローラによって登録されたそれぞれのカメラのベースライン画像を画定するそれぞれのカメラで撮像される。

【0074】

本開示の1つまたは複数の態様によれば、方法が、基板キャリアのためのロードステー

50

ションと連通するウェハロード開口部を形成するフレームを設ける工程であって、基板キャリアが、ウェハロード開口部を介する積載のために基板キャリアに垂直に分配された複数のウェハを保持するように配置される、工程と、ウェハロード開口部に対して移動するようにフレームに移動可能に取り付けられた可動アームを設ける工程であって、可動アームが、ウェハロード開口部を介して基板キャリアからウェハを積載するために可動アームに移動可能に取り付けられた少なくとも1つのエンドエフェクタを有する、工程と、共通の支持部上に配置されたカメラのアレイを含む画像取得システムを設ける工程であって、各カメラが、カメラのアレイの各カメラに対して静止している共通の支持部に対して固定されている、工程と、各々のそれぞれのカメラが、可動アームによって共通の支持部が共通の位置に位置づけられた状態でウェハロード開口部を介して、複数のウェハの少なくとも1つのウェハを保持するためのウェハスロットを有する基板キャリアの異なる別個の部分を見るように配置された視野で位置づけられるように、可動アームを移動させる工程であって、基板キャリアの異なる別個の部分は、共通の支持部が共通の位置にある状態で各々の他のカメラによって見られる、少なくとも1つのウェハとは異なるウェハを保持するための異なるウェハスロットを有する基板キャリアの部分とは別個で異なり、基板キャリアにおいて保持された各ウェハは、共通の支持部が共通の位置にある状態でカメラのアレイによって撮像される、工程と、共通の支持部に接続された照明源を用いて、共通の支持部が共通の位置にある状態でウェハロード開口部を介して、ウェハの外縁の上縁境界および下縁境界を定める、基板キャリアにおける各ウェハの外縁を照明する工程であって、外縁が、反射された縁部の照明を照明源から各カメラに方向づけ、かつ、共通の支持部が共通の位置にある状態でウェハロード開口部を介して各カメラによって見られるバックグラウンド反射光を上縁境界および下縁境界で光学的に見えなくするように、照明源が各カメラに対して配置されている、工程と、を含み、ウェハの外縁は、共通の支持部が共通の位置にある状態で基板キャリアにおける各ウェハの縁部の検出をもたらすように、各カメラによって登録された、縁部の反射と光学的に見えなくされたバックグラウンドとによって、およびそれらの間に形成された、画像コントラストにおいて浮き彫りの上縁境界および下縁境界で画定される。

【0075】

本開示の1つまたは複数の態様によれば、カメラのアレイのそれぞれのカメラによって見られる各々の異なる別個の部分は、それぞれのカメラによって見られる所定の基準高さで垂直に分配された、別個の部分およびそれぞれのカメラに対応する、ウェハスロットの異なるセットを有する。

【0076】

本開示の1つまたは複数の態様によれば、当該方法は、可動アームに通信可能に連結されたコントローラを用いて、共通の支持部を共通の位置に位置づけるようにフレームに対して可動アームの移動を命令する工程をさらに含む。

【0077】

本開示の1つまたは複数の態様によれば、可動アームは、ウェハロード開口部を介してウェハを基板キャリアに積載するおよび基板キャリアから取り出すためのエンドエフェクタを有するウェハ搬送ロボットのアームである。

【0078】

本開示の1つまたは複数の態様によれば、照明源は、基板キャリアに挿入されたウェハおよび各々の他のウェハの平面から反射された光が、基板キャリアの異なる別個の部分のそれぞれのカメラによる各画像において光学的に見えなくされるように、それぞれのカメラに対して配置される。

【0079】

前述の説明が、本開示の態様の例示にすぎないことが理解されるべきである。本開示の態様から逸脱することなく、当業者によってさまざまな代替および補正が企図され得る。したがって、本開示の態様は、本明細書に添付された任意の請求項の範囲内にあるすべてのそのような代替、補正、および変形を包含することを意図している。さらに、異なる特

10

20

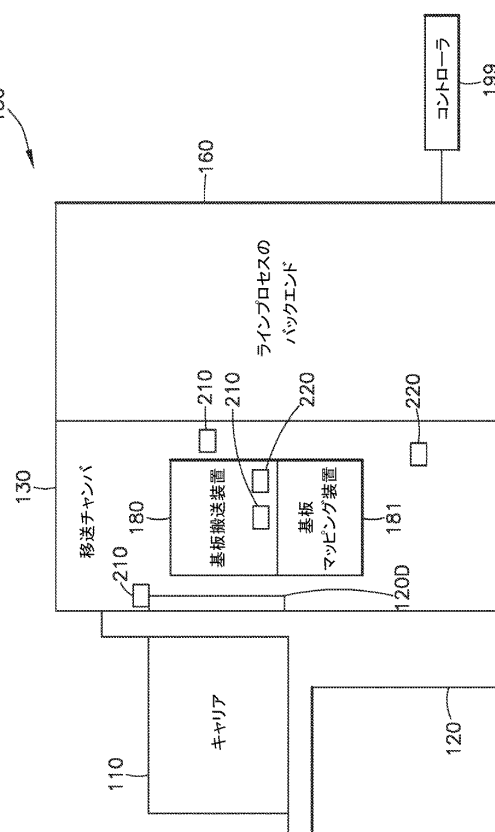
30

40

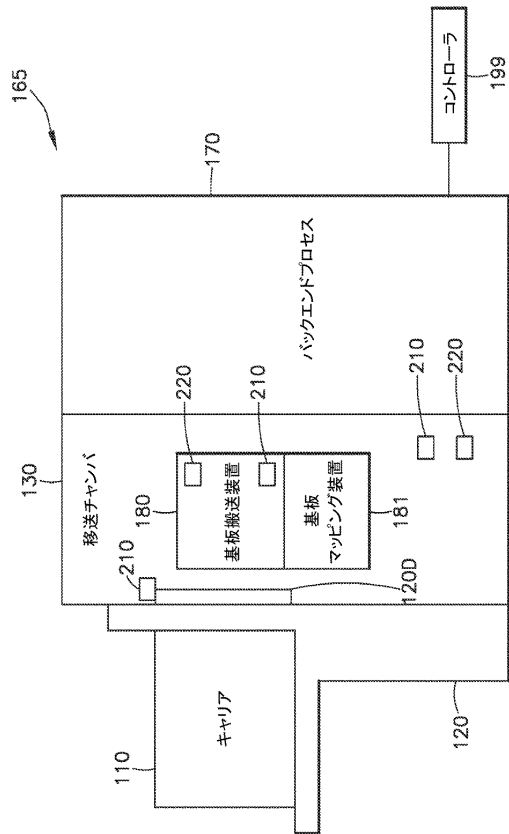
50

【図面】

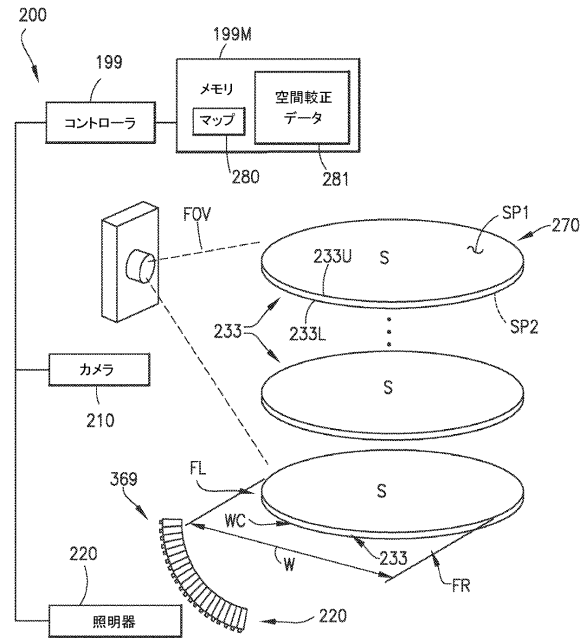
【図 1 B】



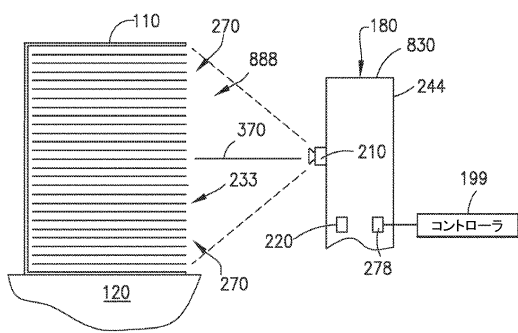
【図 1 C】



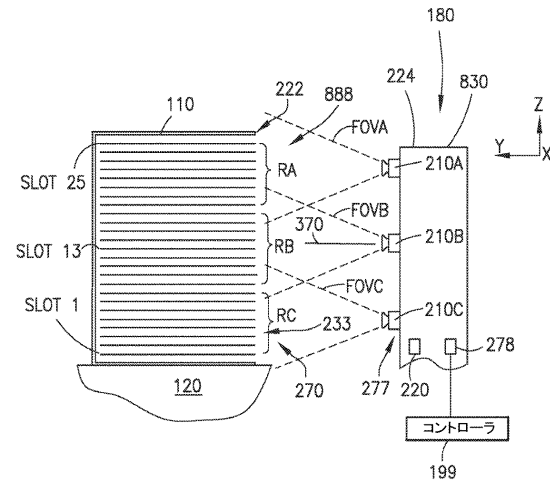
【図 2 A】



【図 2 B】



【図 2 C】



10

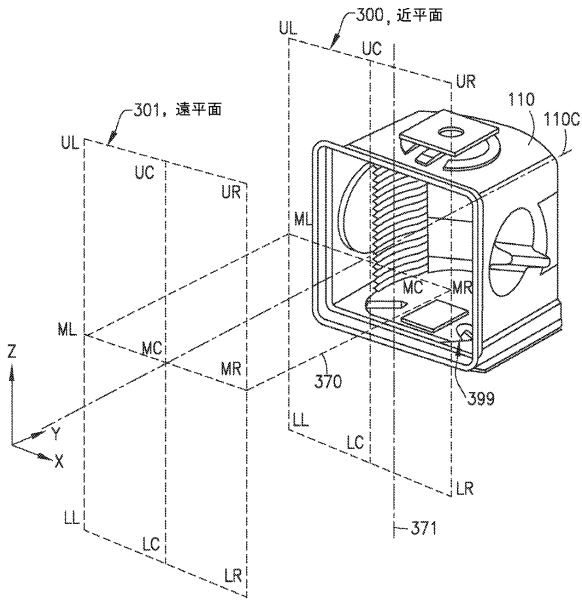
20

30

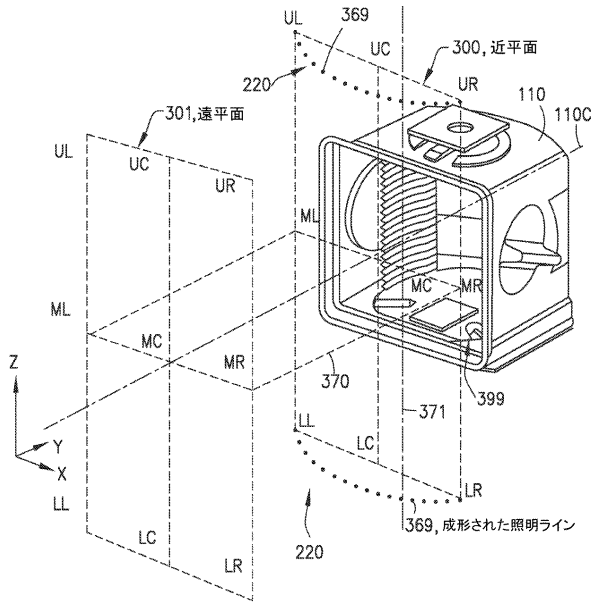
40

50

【図 3 A】



【図 3 B】



【図 3 C】

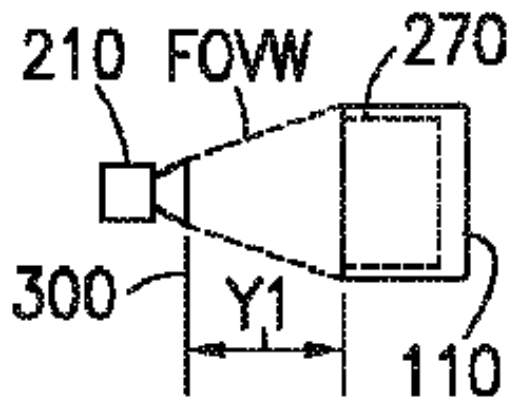


FIG.3C

【図 3 D】

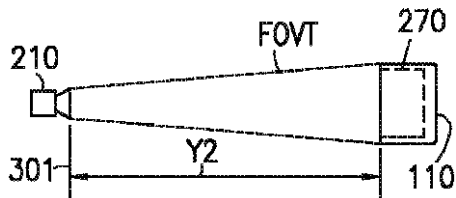
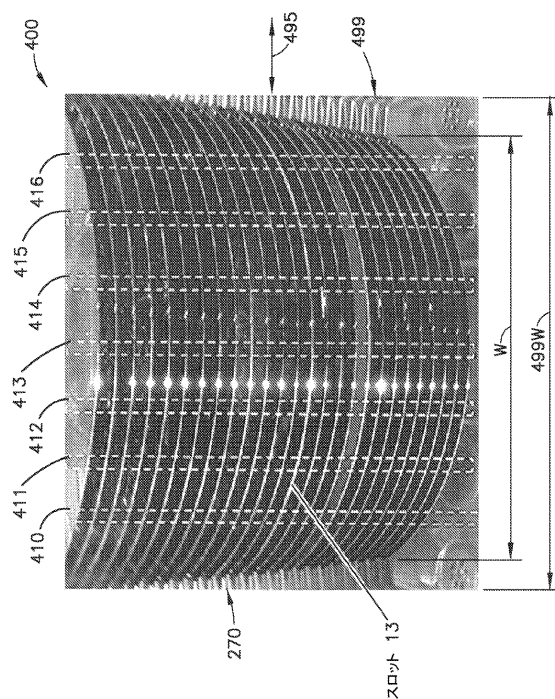
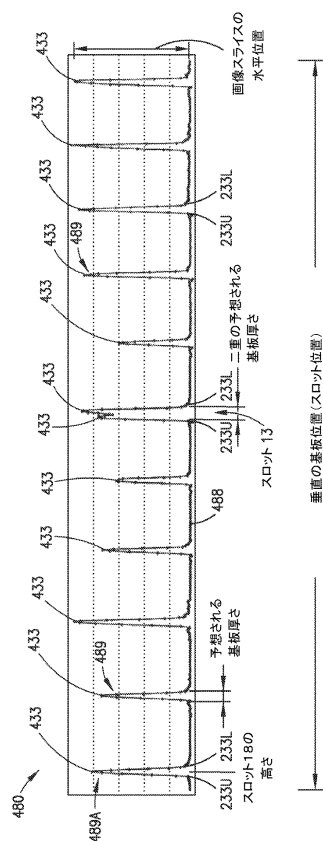


FIG.3D

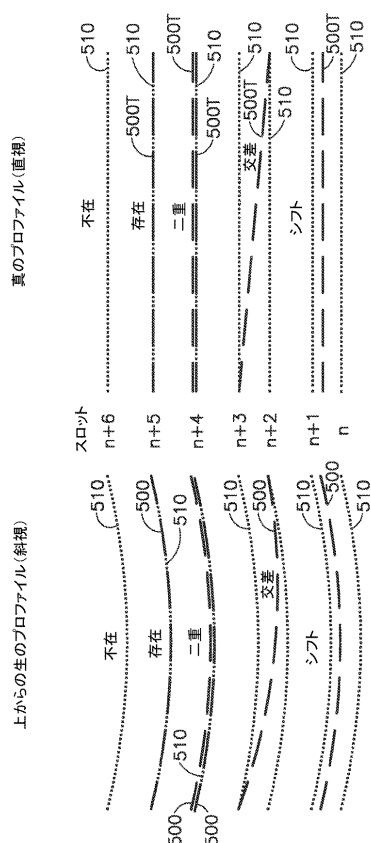
【図 4 A】



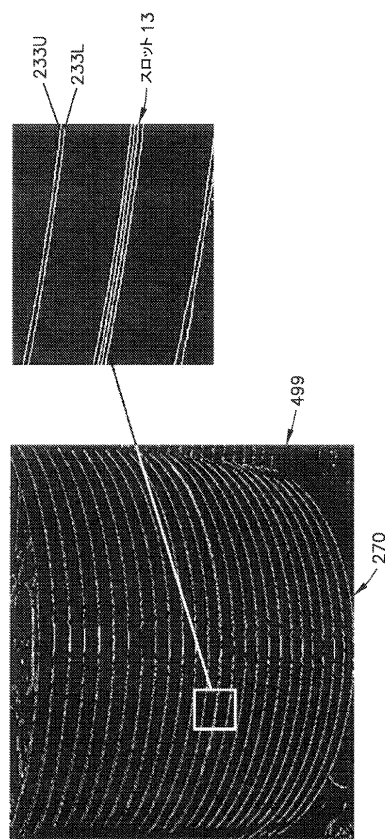
【図 4 B】



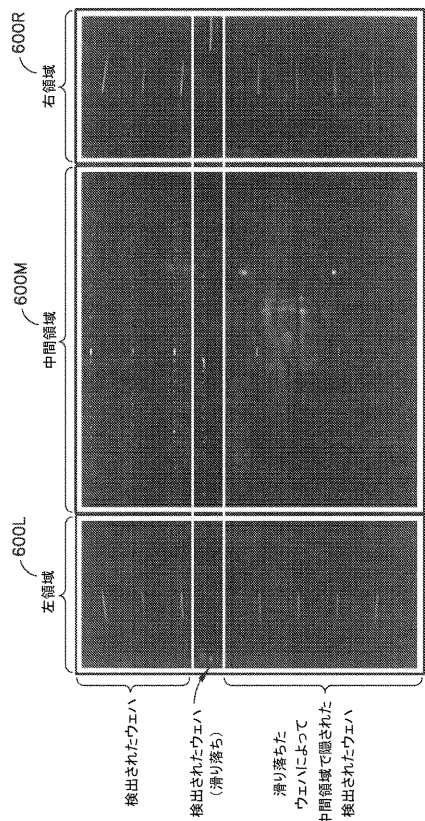
【図 5】



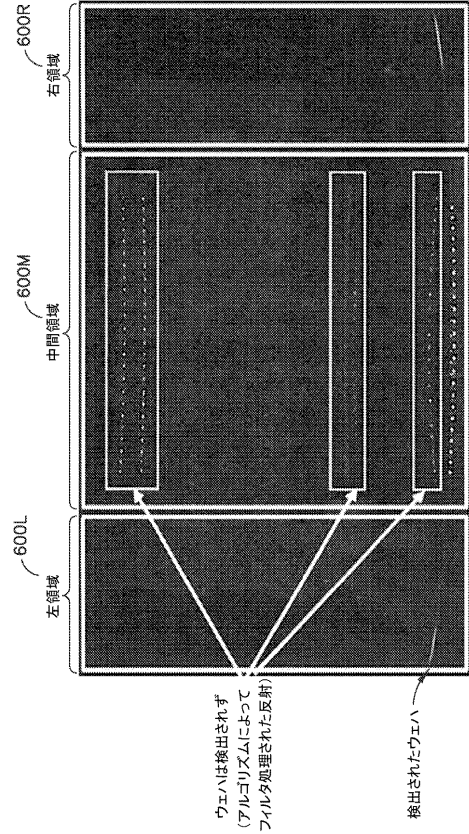
【図 6 A】



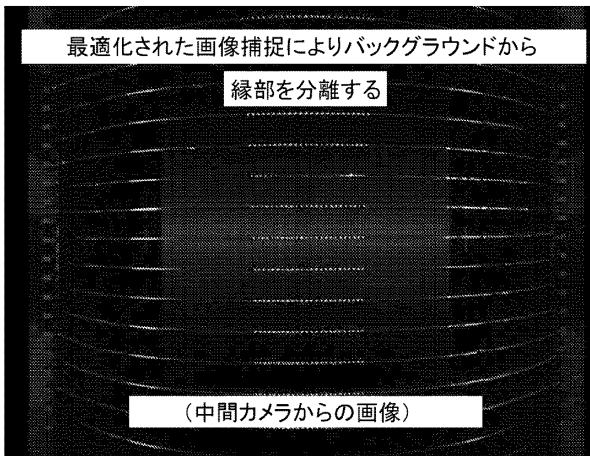
【図 6 B】



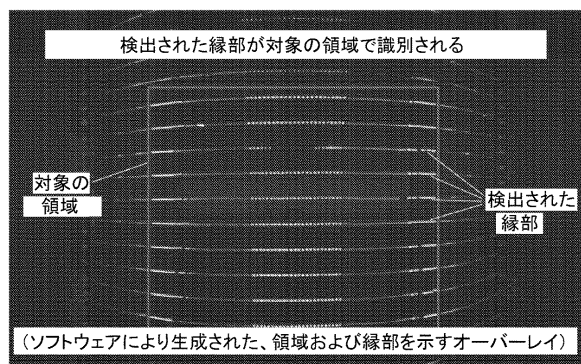
【図 6 C】



【図 6 D】



【図 6 E】



10

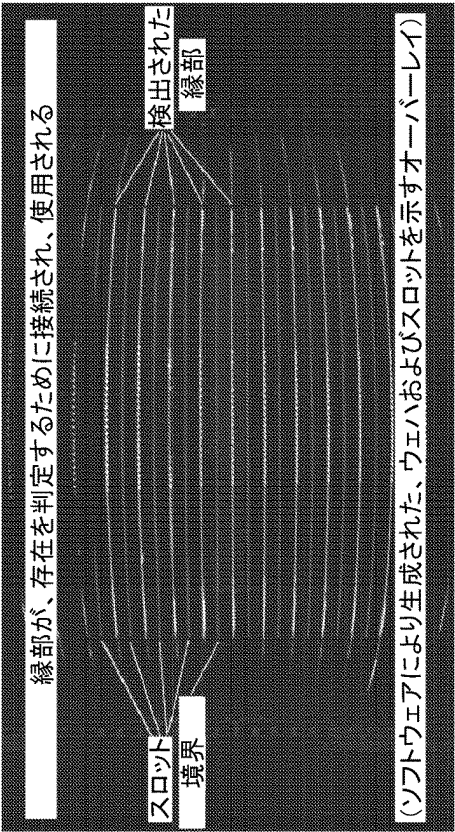
20

30

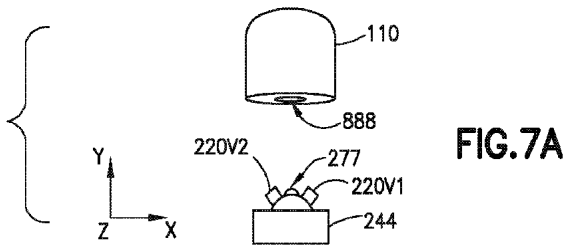
40

50

【図 6 F】



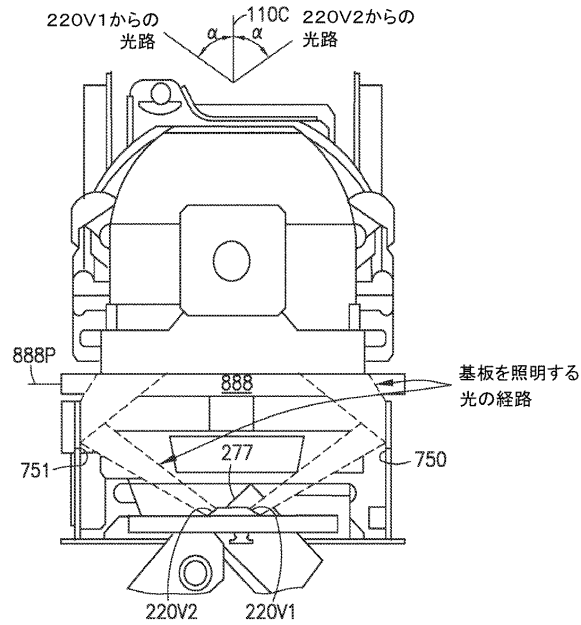
【図 7 A】



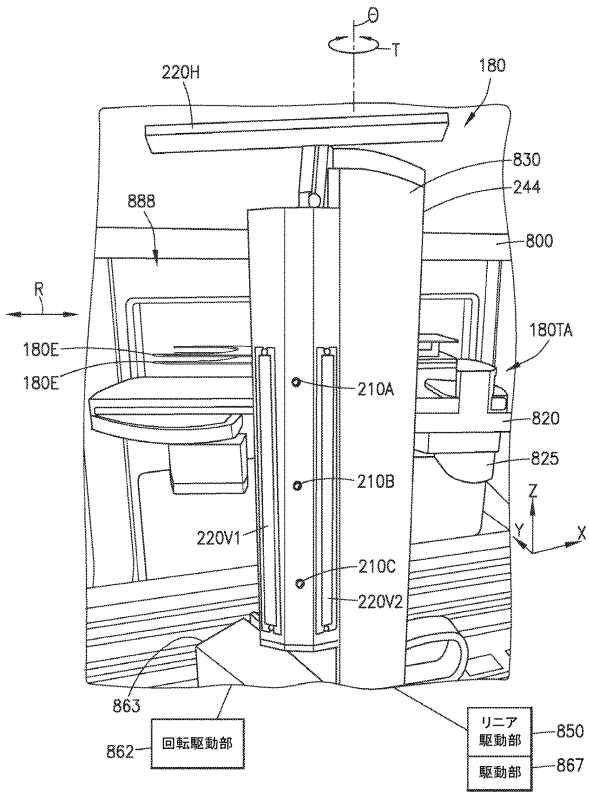
10

20

【図 7 B】



【図 8 A】



30

40

50

【図 8 B】

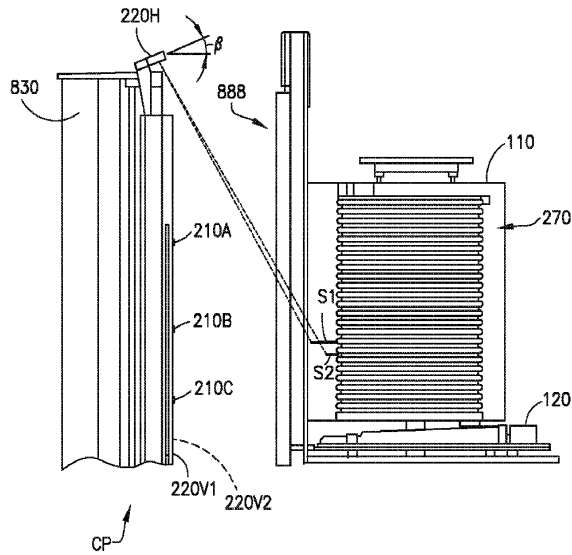
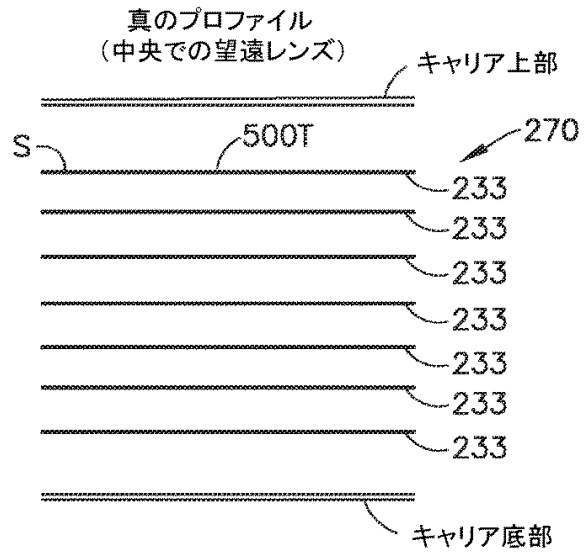


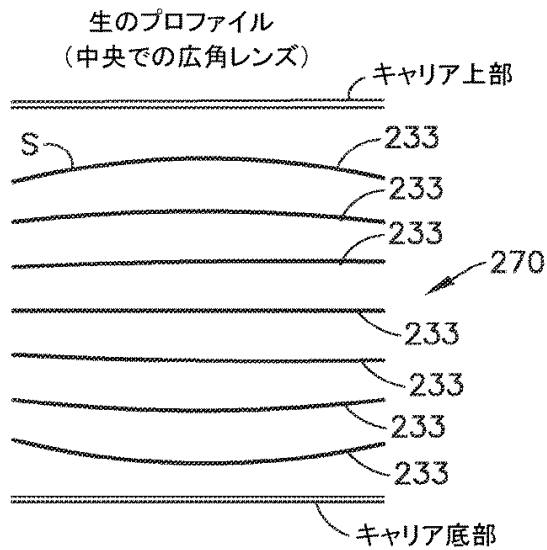
FIG.8B

【図 9 A】

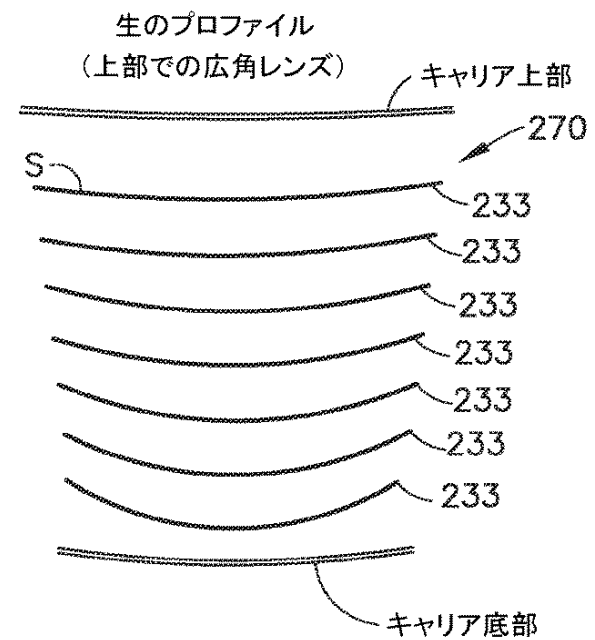


10

【図 9 B】



【図 9 C】



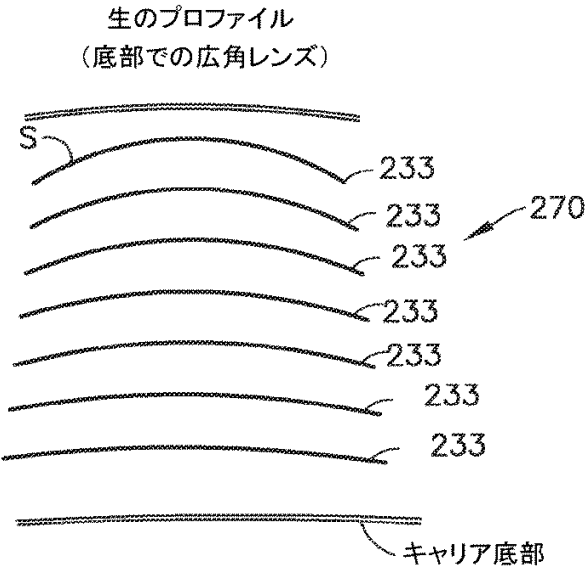
20

30

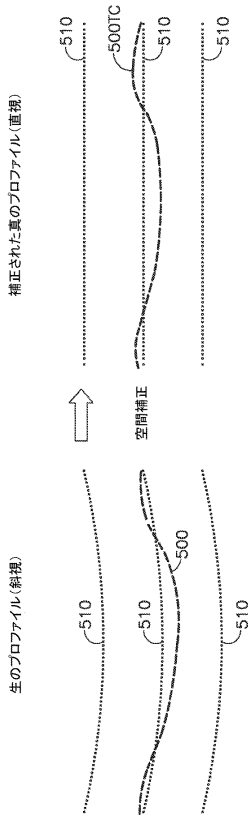
40

50

【図 9 D】



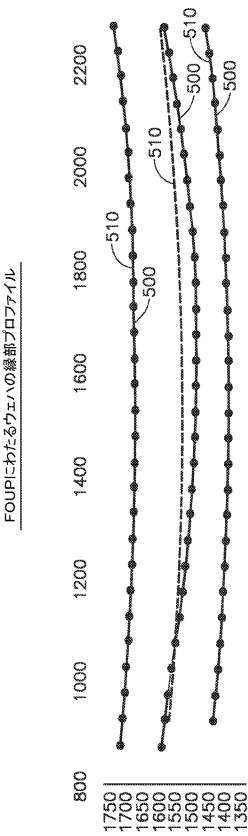
【図 1 0】



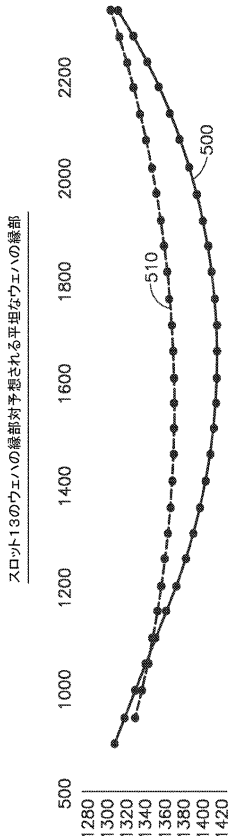
10

20

【図 1 1】



【図 1 2】

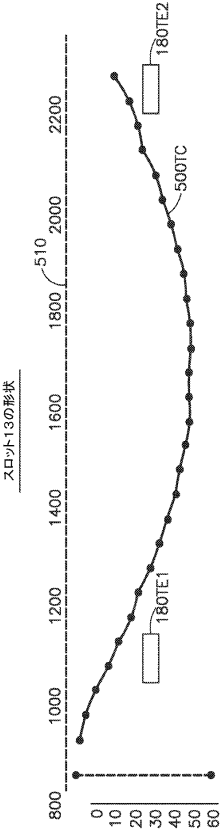


30

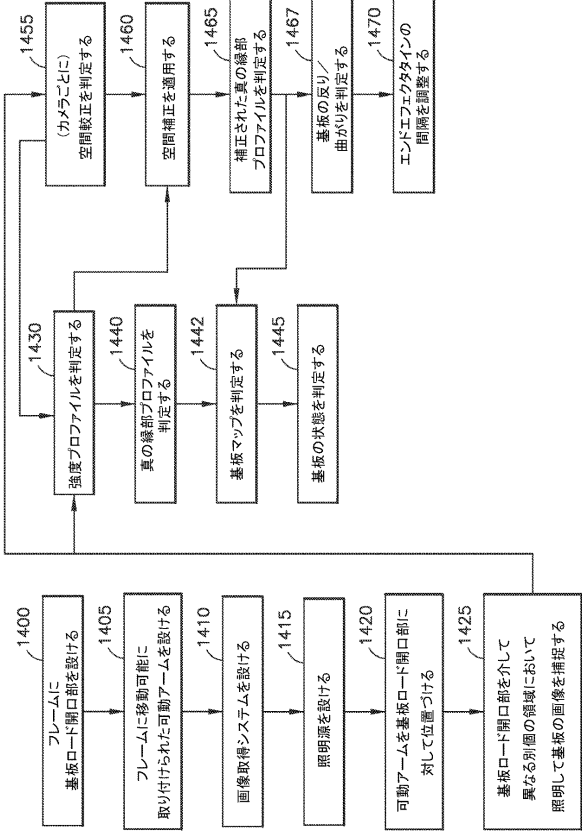
40

50

【図 1 3】



【図 1 4】



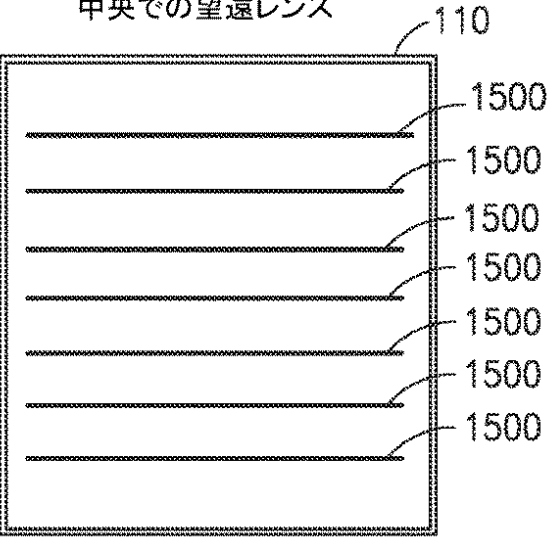
10

20

【図 1 5 A】

ベースライン画像

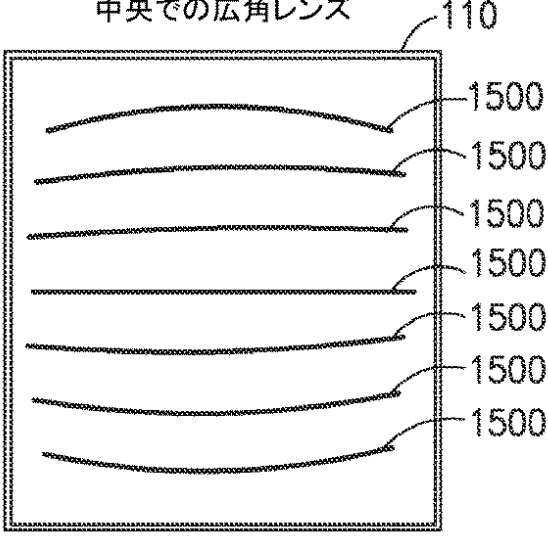
中央での望遠レンズ



【図 1 5 B】

ベースライン画像

中央での広角レンズ

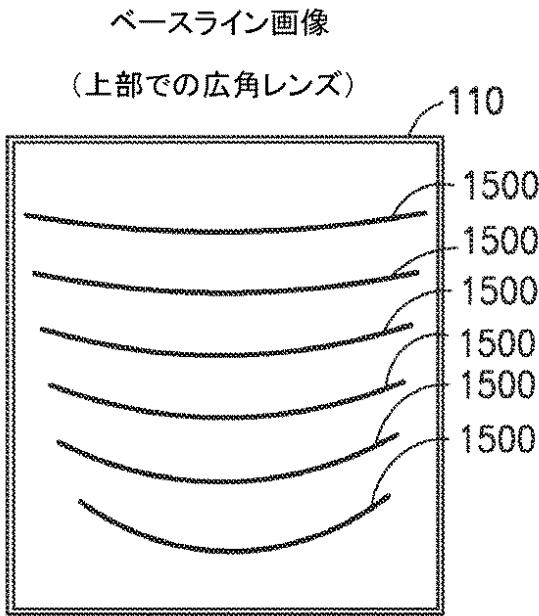


30

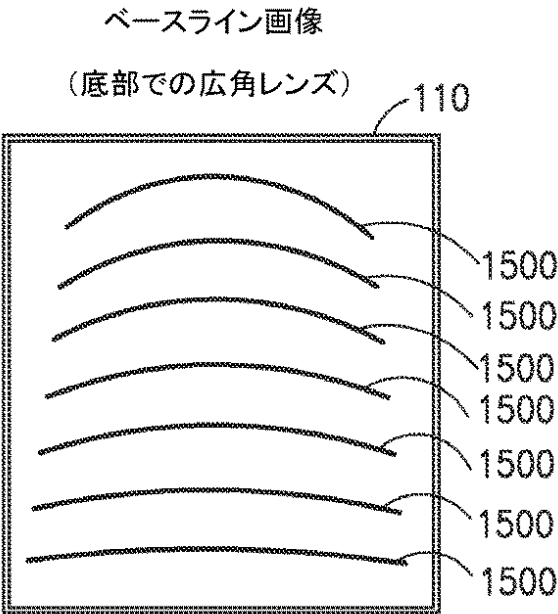
40

50

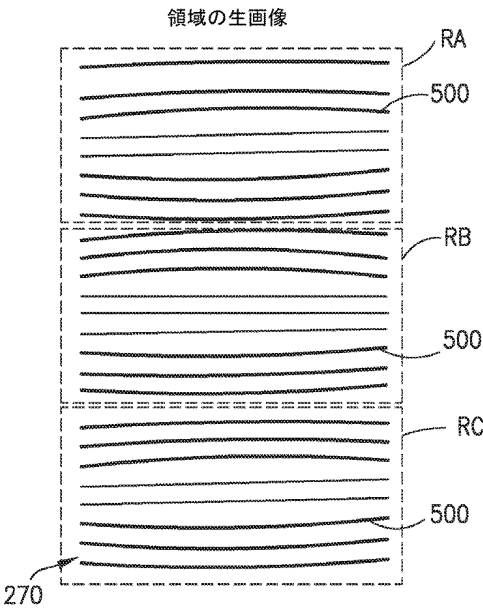
【図 1 5 C】



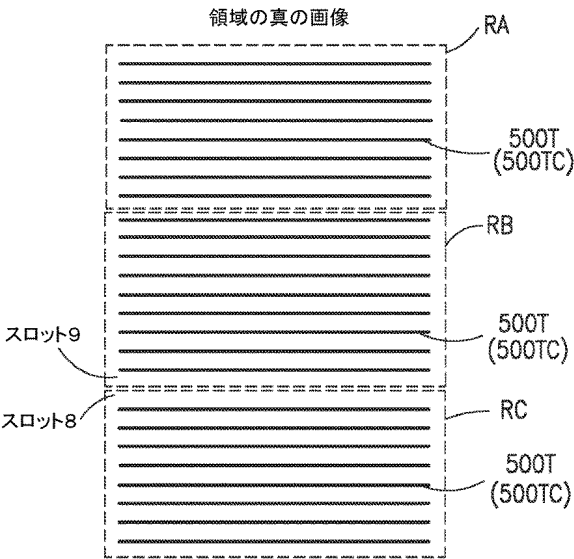
【図 1 5 D】



【図 1 6 A】



【図 1 6 B】



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)

ニュー 117

(72)発明者 シェ、カール

アメリカ合衆国、94539 カリフォルニア州、フリーモント、カミノ サンタ バーバラ 42
234

(72)発明者 グラシアーノ、フスト

アメリカ合衆国、94542 カリフォルニア州、ヘイワード、レッドストーン プレイス 1087

(72)発明者 ワイズ、オースティン

アメリカ合衆国、94040 カリフォルニア州、マウンテン ビュー、ウェスト エル カミノ リ
アル 1571

(72)発明者 ハンセン、カスパー

アメリカ合衆国、94040 カリフォルニア州、マウンテン ビュー、ウィンフィールド ドライ
ブ 2729

(72)発明者 パストール、エリック

アメリカ合衆国、95122 カリフォルニア州、サン ノゼ、フリッツェン ストリート 1206

審査官 奎 哲次

(56)参考文献 国際公開第2011/062138 (WO, A1)

特開平11-145244 (JP, A)

特表2002-527897 (JP, A)

特開2005-5347 (JP, A)

特開2020-25088 (JP, A)

特開2019-102753 (JP, A)

特開2017-69386 (JP, A)

特開平11-354609 (JP, A)

韓国登録特許第10-1843476 (KR, B1)

米国特許出願公開第2019/0067057 (US, A1)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

H01L 21/677

H01L 21/673