

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6618478号
(P6618478)

(45) 発行日 令和1年12月11日(2019.12.11)

(24) 登録日 令和1年11月22日(2019.11.22)

(51) Int.Cl.

F 1

GO 1 B	11/24	(2006.01)	GO 1 B	11/24	K
GO 1 B	11/02	(2006.01)	GO 1 B	11/02	H
GO 1 B	11/06	(2006.01)	GO 1 B	11/06	H
GO 1 B	11/08	(2006.01)	GO 1 B	11/08	H
HO 1 L	21/66	(2006.01)	HO 1 L	21/66	P

請求項の数 14 (全 17 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2016-553850 (P2016-553850)
(86) (22) 出願日	平成27年2月25日 (2015.2.25)
(65) 公表番号	特表2017-515097 (P2017-515097A)
(43) 公表日	平成29年6月8日 (2017.6.8)
(86) 國際出願番号	PCT/US2015/017549
(87) 國際公開番号	W02015/130803
(87) 國際公開日	平成27年9月3日 (2015.9.3)
審査請求日	平成30年2月23日 (2018.2.23)
(31) 優先権主張番号	61/944, 244
(32) 優先日	平成26年2月25日 (2014.2.25)
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)
(31) 優先権主張番号	14/630, 252
(32) 優先日	平成27年2月24日 (2015.2.24)
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)

(73) 特許権者	500049141 ケールエー コーポレイション 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
(74) 代理人	110001210 特許業務法人 Y K I 国際特許事務所
(72) 発明者	ヴァジャリア ヒマンシュ アメリカ合衆国 カリフォルニア サン ノゼ イラン ヴィレッジ レーン 35 O ユニット 310
(72) 発明者	ジャハンビン シナ アメリカ合衆国 カリフォルニア サン ノゼ マイルドレッド アベニュー 12 83

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】射影画像を用いた自動インライン検査及び計測

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

積層ウエハのエッジに対して接線方向にコリメート光を送るように構成された複数の光源と、

前記複数の光源と向かい合って配置されて、前記積層ウエハのエッジの射影画像を取得するように構成された複数の検出器と、

前記複数の検出器のそれぞれに動作的に接続された制御装置と、を含むシステムであつて、

前記制御装置は、

前記射影画像を受け取り、

前記射影画像の特徴を所定の測定値と比較して、前記積層ウエハのエッジプロファイルを検査するように構成され、

前記複数の光源と前記複数の検出器は、前記積層ウエハの異なる複数の位置で前記射影画像を収集するように、前記積層ウエハの外周を取り巻く位置に配置される、システム。

【請求項 2】

前記複数の検出器のそれぞれは、前記積層ウエハの異なる場所の複数の射影画像を取得するように更に構成される、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 3】

前記積層ウエハを回転するように構成されたプラテンを更に含む、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 4】

前記積層ウエハは、前記複数の光源に対して回転するように構成される、請求項1に記載のシステム。

【請求項 5】

前記射影画像がシルエットを含み、

前記制御装置が、前記射影画像内の前記積層ウエハの前記シルエットの測定値と前記所定の測定値とを比較するようにさらに構成されている、請求項1に記載のシステム。

【請求項 6】

複数の前記射影画像内の前記シルエットの測定値を集計して前記積層ウエハについての情報が提供されるように前記制御装置がさらに構成されている、請求項5に記載のシステム。 10

【請求項 7】

前記複数の検出器が、前記積層ウエハの回転中に、前記積層ウエハのエッジに沿った異なるポイントで複数の前記射影画像を取得するようにさらに構成されている、請求項3に記載のシステム。

【請求項 8】

前記複数の光源のそれがLEDを含む、請求項1に記載のシステム。

【請求項 9】

前記複数の検出器のそれがCCDカメラとCMOSカメラの少なくともいずれかを含む、請求項1に記載のシステム。 20

【請求項 10】

前記コリメート光が可視光またはUV光のいずれかである、請求項1に記載のシステム。

【請求項 11】

前記複数の光源のそれがパルスコリメート光を発するように構成されている、請求項1に記載のシステム。

【請求項 12】

前記制御装置が少なくとも1つのエッジ抽出アルゴリズムを使用して前記積層ウエハのエッジプロファイルの特徴を測定するように構成されている、請求項1に記載のシステム。 30

【請求項 13】

前記制御装置が前記射影画像に対して平滑化を行うように構成されている、請求項1に記載のシステム。

【請求項 14】

前記制御装置がチェインコードタイプアルゴリズムを使用して前記射影画像を記述するように構成されている、請求項1に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】****(関連出願)**

本願は、2014年2月25日に出願されて譲渡された米国特許出願第61/944,244号明細書からの優先権を主張するものであり、前記米国特許出願は、その開示内容全体を本願明細書の一部として援用する。 40

【0002】

本開示は、射影画像を用いた検査及び計測に関し、特に、射影画像を用いた積層ウエハの検査及び計測に関する。

【背景技術】**【0003】**

積層(又は接合)ウエハは、半導体産業において頻繁に利用されている。キャリアウエハに接合された一つ以上の極薄ウエハは、積層ウエハの一例であるが、他の半導体ウエハ 50

設計も積層ウエハであり得る。例えば、積層ウエハは、キャリアウエハに接合されたデバイスウエハを含むことができる。これらの積層ウエハは、記憶装置や論理回路の用途に利用できる。3次元集積回路（「3D I C」）は、積層ウエハを利用して作製することができる。

【0004】

積層ウエハは、エッジプロファイルが複雑になり得る。積層ウエハの各種の層は、それぞれ異なる高さ及び寸法を持ち得る。これらの寸法は、積層前の各種ウエハのサイズ、又は加工ステップによる影響を受ける可能性がある。また、このような加工ステップは、積層ウエハのエッジプロファイルにも影響を及ぼす可能性があり、潜在的には、望ましくないエッジプロファイルを生じることになり得る。

10

【0005】

加工エラーを有する積層ウエハは、製造中に問題を引き起こす可能性がある。例えば、仕様を満たさないエッジプロファイルを持つ積層ウエハは、化学機械研磨（Chemical Mechanical Polishing, CMP）、他の加工ステップ、又はウエハの処理中に危険を招く恐れがある。積層ウエハの中心性はCMPプロセスに影響したり、処理リスクを増大させたりする。CMP中に、中心性は、積層ウエハの中心に対する研磨パッドの配置や、後の分極処理に影響を及ぼす。ウエハの加工中、積層ウエハのバランス、又は製造設備内の遊隙は、積層ウエハの中心性によって影響され得る。

【0006】

中心性が不適切であると、積層ウエハを損壊する、又は製造設備を破壊することにもなり得る。積層ウエハがアンダーカットされている場合、積層ウエハ同士の接合が不適切である場合、又は積層ウエハに過度の接着剤が含まれている場合は、そのような積層ウエハが、CMP器具内で破損する、又はEMP器具を汚染もしくは破壊することになり得る。このような汚染又は破損は、望ましくない中断時間をもたらすか、又は半導体製造設備内での製造を停止させることにもなり得る。

20

【0007】

また、CMPプロセスによって、積層ウエハに望ましくないエッジプロファイルが生じる場合もある。例えば、CMPプロセス中に、材料が過剰に除去されたり、もしくは材料の除去が不十分であったり、又は、CMPプロセスによって、アンダーカット、はみ出し、もしくはウィスカが生じる場合もある。このような望ましくないエッジプロファイルは、デバイスの歩留まりに影響したり、後の製造工程に影響を与えることになり得る。

30

【0008】

検査を利用することで積層ウエハの問題を特定できるが、積層ウエハは、エッジ検査に独特の課題を提供する。積層ウエハのアンダーカット又は他のエッジプロファイルは、画像検出器内で散乱物又は反射物の取得を困難にする。積層ウエハのエッジプロファイルを検査するために積層ウエハに向けて光ビームを放射状に送ると、反射して検出器に戻ることのない光が生じ得る。より複雑なエッジプロファイルはこの問題を更に複雑にする。ぎざぎざのあるエッジ又は複雑なエッジプロファイルもノイズの原因となり得る。例えば、積層ウエハが不適切に積層されると、デバイスウエハの片側が、キャリアウエハのエッジからはみ出す一方で、デバイスウエハの他方の側が、キャリアウエハの内側に深く入り込み過ぎてしまう。このような状態において、従来のシステムは、はみ出しの検出、又はキャリアウエハの内側深くに入り込み過ぎたデバイスウエハの検出を最適化できるだけである。ノイズや、散乱光又は反射光の欠落は、不適切な積層を効果的に分析できないということを意味する。

40

【0009】

積層ウエハについて手動且つオフラインでエッジプロファイル測定を行う方法は、速度が遅く、正確さに欠ける品質検定を提供する時間を浪費する手段である。これらのエラーを生じ易い手法では、積層ウエハ内の欠陥の正確な測定又は検出は不可能である。また、手動且つオフラインのエッジプロファイル測定は、製造中のリアルタイムのプロセス制御には利用できない。

50

【0010】

特に、ラインの最終端（Back End Of Line, BEOL）において、キャリアに接合された薄いウエハを検査することを求める要望が増え続けている。このような積層ウエハは、状況によっては、標準的なエッジプロファイル形状を持たないことになる。また、積層ウエハの不適正な積層は、エラーとなった積層ステップが一つだけであるとしても、複数のデバイスウエハを喪失するという事態を招く。例えば、ハイブリッドメモリ筐体内での1度の積層障害の代償は、完全に加工されたデバイスウエハに換算すると8つのデバイスウエハの損壊になり得る。

【先行技術文献】**【特許文献】**

10

【0011】**【特許文献1】**米国特許出願公開第2010/0134615号**【特許文献2】**米国特許出願公開第2009/0142916号**【発明の概要】****【発明が解決しようとする課題】****【0012】**

エッジ計測についての現在の解決策は、積層ウエアにとって十分に正確なものでも、又は十分に高速なものでもない。また、エッジ計測についての現在の解決策は、積層ウエハのエッジプロファイルがどの時点で特定のモデルと一致しなくなったのかを正確に示すことができない。したがって、積層ウエハのための向上したエッジ検査技法が求められている。

20

【課題を解決するための手段】**【0013】**

第1実施形態において、システムが提供される。このシステムは、光源、検出器、及び制御装置を備える。光源は、積層ウエハのエッジにコリメート光を送るように構成される。検出器は、光源と向かい合わせに配置されて、積層ウエハのエッジの射影画像を取得するように構成される。制御装置は、検出器と動作接続される。制御装置は、射影画像を受け取り、射影画像の特性と所定の測定値とを比較して、積層ウエハのエッジプロファイルを検査するように構成される。検出器は、積層ウエハの異なる位置において複数の射影画像を取得するように構成できる。積層ウエハは、光源に対して回転するように構成されてよい。例えば、本システムは、積層ウエハを回転するように構成されたプラテンを含んでよい。

30

【0014】

第2実施形態において、一つ以上の演算装置上で後述するステップを実行する一つ以上のプログラムを含む非一過性コンピュータ可読記憶媒体が提供される。実行されるステップは、積層ウエハのエッジの少なくとも一つの射影画像を受け取り、射影画像内の積層ウエハのシルエットのエッジを検出し、射影画像の画像分析に基づいてシルエットのエッジの測定値を特定して、シルエットのエッジの測定値と所定の測定値とを比較することを含む。比較結果は表示されてよい。検出することは、探索ベースの検出、ゼロ交差ベースの検出、形態検出、又は分類検出のいずれかであってよい。射影画像の画像分析は、ビットマスクの適用をはじめとする一つ以上の形態的処理であってよく、ビットマスクを用いてエッジを互いに結合することを含んでもよい。所定の測定値は、キャリア高さ、デバイス高さ、インセット幅、キャリア高さ許容値、デバイス高さ許容値、キャリアエッジ突出閾値、及びデバイスエッジ突出閾値のうちの少なくとも一つであってよい。シルエットのエッジは、チェインコードアルゴリズムを用いて、そのチェインコードアルゴリズムが画素行列を生成するように符号化されてよい。検出することは、ヒストグラム分析、セグメンテーション分析、又はレイトレーシングアルゴリズムのいずれかであってよい。

40

【0015】

積層ウエハ上の複数の位置におけるシルエットのエッジの測定値を集計することで、積層ウエハについての情報が提供されてよい。積層ウエハについての情報は、直径、中心才

50

フェット、厚さ、平均全高、平均デバイス高さ、平均キャリア高さ、最小適合性、全てのアンダーカット高さの最大値、全てのアンダーカット幅の最大値、デバイスエッジ突出的最大値、キャリアエッジ下方突出的最大値、及び最大キャリア左方突出のうちの少なくとも一つであってよい。

【0016】

第3実施形態において、方法が提供される。積層ウエハのエッジの射影画像が、検出器を用いて取得される。射影画像内の積層ウエハのシルエットの測定値が、制御装置を用いて所定の測定値と比較される。所定の測定値は、キャリア高さ、デバイス高さ、インセット幅、キャリア高さ許容値、デバイス高さ許容値、キャリアエッジ突出閾値、及びデバイスエッジ突出閾値のうちの少なくとも一つであってよい。

10

【0017】

積層ウエハは回転可能であってよく、積層ウエハのエッジに沿った異なるポイントにおいて複数の射影画像を取得することができる。複数の射影画像内のシルエットの測定値は、積層ウエハについての情報が提供されるように集計することができる。積層ウエハについての情報は、直径、中心オフセット、厚さ、平均全高、平均デバイス高さ、平均キャリア高さ、最小適合性、全アンダーカット高さの最大値、全アンダーカット幅の最大値、デバイスエッジ突出的最大値、キャリアエッジ下方突出的最大値、及び最大キャリア左方突出のうちの少なくとも一つであってよい。

【0018】

本開示の特徴及び対象についての完全な理解のために、付属の図面と組み合わせて下記の詳細な説明を参照されたい。

20

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】本開示の実施形態に係るシステムのブロック図を示す上面図である。

【図2】本開示の実施形態に係るシステムのブロック図に対応する、A - Aに沿った断面側面図である。

【図3】図1及び図2の実施形態に対応するシステムの斜視図である。

【図4】積層ウエハのエッジの例示的射影プロファイルを示す図である。

【図5】積層ウエハのエッジの他の例示的射影プロファイルを示す図である。

【図6】アンダーカットの積層不備を有する例示的射影エッジプロファイルである。

30

【図7】異なる積層ウエハの一連の例示的射影プロファイルを示す図であり、積層ウエハAが所望のプロファイル特性を持つエッジを有し、積層ウエハB, C, D, E, Fが、望ましくないプロファイル特性を持つエッジを有する、図である。

【図8】所望のプロファイル特性を持つ積層ウエハのエッジの他の例示的射影プロファイルを示す図である。

【図9】望ましくないプロファイル特性を持つ積層ウエハエッジの4つの例示的射影プロファイルを示す図である。

【図10】積層ウエハの外周に沿って取得された一連の例示的射影エッジプロファイルを示す図である。

【図11】本開示の実施形態に係る方法を示すフローチャートである。

40

【発明を実施するための形態】

【0020】

請求項の対象を特定の実施形態に基づいて説明するが、本明細書に記載した利点及び特徴の全てを提供するものではない実施形態を含む他の実施形態も本開示の範囲に含まれる。各種の構造、論理、プロセスステップ、及び電子部品の変更は、本開示の範囲から外れずに行うことができる。したがって、本開示の範囲は、付属の請求項を参照することによってのみ規定される。

【0021】

本開示の実施形態は、積層ウエハについての計量測定、エッジ検査、及び瑕疵検出を提供する。計量は、積層ウエハのエッジに沿った複数のポイントに亘って実行されてよく、

50

例えば、中心性、過剰な接着剤、ウエハのウィスカ、アンダーカット、ウエハ積層角度、又は他の問題等の積層特性を数値化することができる。不均一なウエハの検査を実行することができる。

【0022】

図1及び図2は、本開示の実施形態に係るシステム100のブロック図の上面図、及び対応するA-Aに沿った断面側面図である。図3は、図1及び図2の実施形態に対応するシステム100の斜視図である。システム100は、射影画像である画像を取得することによって積層ウエハのエッジ計測を実行するように構成される。射影画像は、射影技法を適用して射影を可視化又は画像化したものである。プラテン101が積層ウエハ102を回転させるように構成できるが、システム100も積層ウエハ102に対して回転可能である。このような回転はステップ式回転又は連続回転であってよい。積層ウエハ102は、検査及び計測中に回転しなくてもよく、システム100の構成部品は固定されてよい。
10

【0023】

例示的積層ウエハ102は、第1層107及び第2層108と共に示されている。第1層107及び第2層108は、図1に示すように直径が異なってよい。例えば、第1層107は、キャリアウエハであり得、第2層108はデバイスウエハであり得る。これに代えて、第1層107及び第2層108が両方ともデバイスウエハであっても、又は第1層107及び第2層108より多くの層が積層ウエハ102を構成することもできる。

【0024】

光源103は、積層ウエハ102のエッジにコリメート光104を送るように構成される。いくつかの実施形態において、コリメート光104は、積層ウエハ102に対して接線方向に送られて、エッジプロファイルの射影を形成する。例示的実施形態において、光源103は、発光ダイオード(Light-Emitting Diode, LED)を利用する。コリメート光を生成するランプ、レーザ、半導体レーザ、レーザ駆動熒光、レーザ駆動ランプ等の他の適切な光源103は、本開示の観点において明らかであろう。レーザ及びLED等の光源103の組み合わせが利用されてよい。光源103は、単一システム又は複数のシステム内に単一波長帯光源と広帯域光源の両方を含むことができる。コリメート光104は、積層ウエハ102の平面と並行である。例えば、コリメート光104は、上部に第2層108が積層された第1層107の平面と並行であってよい。回折低減技術を用いて、ウエハの厚さ又は他の寸法の測定に悪影響を及ぼし得る回折関連のアーティファクトを除去することができる。コリメート光104を用いることで、積層ウエハ102の数ミリメートル程度がプロファイル内で確認されるが、他の寸法も利用可能である。
20
30

【0025】

光源103から離れて配置された検出器105は、コリメート光104の少なくとも一部を受け取る。検出器105は、積層ウエハ102の検査時に、射影(すなわち、射影を形成する光)の少なくとも一部を検出器105で受け取れるように配置される。検出器105は、例えば、電荷結合素子(Charge-Coupled Device, CCD)カメラ又は相補型金属酸化膜半導体(Complementary Metal-Oxide-Semiconductor, CMOS)カメラであってよい。これにより、ウエハエッジシルエットの画像が形成される。検出器105は、高いサンプリング量に対応した積層ウエハ102の数百の画像を収集するように構成することができる。例えば、積層ウエハ102の1~500個の画像が収集されてよいが、これより多数の画像を収集することができる。画像を読み取って処理することができる。一例において、計測は、検査のために積層ウエハ102が回転している間に、積層ウエハ102のエッジに沿った数百のポイントで実行することができる。
40

【0026】

コリメート光104は、射影を生成する单一又は複数の波長を有してよい。例えば、青色光又は白色光等の可視光が利用されてよい。他の適切なコリメート光104は、本開示を考察すれば明らかであろう。例えば、紫外線を利用できる。コリメート光104は、偏

10

20

30

40

50

光されてよく、パルス光又は連続光であってよい。

【0027】

図1～図3には一つの光源103と一つの検出器105のみが図示されているが、複数の光源103と複数の検出器105が用いられてもよい。複数の光源103と複数の検出器105は、積層ウエハ102の異なる複数の位置で射影画像を収集するように、積層ウエハ102の外周を取り巻く各種の位置に配置されてよい。これにより、検査のスループットを向上させること、又は検査スループットへの影響を抑制しながら、生成される射影画像の数を増やすことができる。複数の光源103と複数の検出器105が積層ウエハ102の外周を取り巻く各種の位置に配置される場合は、光源103又は検出器105に対して積層ウエハ102を回転させなくてもよい。

10

【0028】

制御装置106が検出器105に動作接続される。制御装置106は、積層ウエハ102のエッジの射影画像を分析するように構成され、検出器105を用いた射影画像の取得を制御することができる。例えば、制御装置106は、光源103又は検出器105に対して積層ウエハ102を回転させることができる。また、制御装置106は、積層ウエハ102上での射影画像の取得タイミング又は取得位置を制御することもできる。射影画像を利用することで、システム100を用いて、積層ウエハ102のエッジプロファイルを評価できる。例えば、システム100は、積層ウエハ102のエッジプロファイルが一つ以上の所定の基準、例えば、インセット幅のサイズに関する基準等、を満たしているかどうかを判定してよい。

20

【0029】

システム100は、フルスキャンスループットで数百の検査測定ポイントを生成できる自動化されたオンラインシステムであり得る。この測定回数により、データからのリアルタイムの統計的結論が得られる。1回又は数回のみの測定でも充分であるが、測定回数が増すにつれて、データが提供できる積層ウエハ102全体についての結論が改善される。オンラインアルゴリズムは、他の統合された検査確認システムへのリアルタイムのフィードバックを提供できる。例えば、積層又は接着に問題があるもの等、瑕疵のある積層ウエハは、再加工又は破棄する対象として製造処理から除外できる。他の例において、製造ステップが、データから得た結論に基づいて調整されてよい。例えば、CMPプロセス、又はフォトレジスト塗布プロセスは、収集したデータから得られる結論に応じて変更することができる。また、これらの結論は、接着プロセス、結合プロセス、又は積層プロセスへのフィードバックとして利用することもできる。したがって、これらのデータ又は結論は、この検査及び計測より上流又は下流のプロセスに対するフィードバックとして利用できる。

30

【0030】

図4は、積層ウエハのエッジの例示的射影プロファイルである。図4の積層ウエハは、第1層107及び第2層108を含む。本例において、第1層107はキャリアウエハで、第2層108はデバイスウエハである。図4の積層ウエハのエッジプロファイルは、1組の例示的な所望の測定値又は特性を満たし得る。

【0031】

40

図5は、積層ウエハのエッジの他の例示的射影プロファイルである。図4の積層ウエハは望ましくないプロファイル特性を有する。この望ましくないプロファイル特性は、デバイスの突出、キャリアの突出、及びアンダーカットを含む。

【0032】

図6は、アンダーカットの積層不良を有する他の例示的射影エッジプロファイルである。アンダーカットは、エッチングプロセス又は他の加工ステップの結果であり得る。アンダーカット領域は、デバイスウエハの下、又はキャリアウエハとデバイスウエハの間等、積層ウエハの下方部分に延びる。アンダーカットの積層不良は、積層ウエハの歩留まりに影響を与える、又は、CMPプロセス中の積層ウエハの破損リスクを上昇させ得る。

【0033】

50

図7は、異なる複数の積層ウエハの、一連の例示的な射影プロファイルである。積層ウエハAは、望ましいプロファイル特性を有する。積層ウエハB,C,D,E,Fは、望ましくないプロファイル特性を有する。積層ウエハB,D,Eにはアンダーカットが存在する。積層ウエハC及びFは、これらの積層ウエハC及びFから過度に多くの材料が除去されたために、CMP器具内で不適切に平坦化された可能性がある。

【0034】

図8は、望ましいプロファイル特性を有する積層ウエハのエッジの他の例示的射影プロファイルである。図9は、望ましくないプロファイル特性を有する積層ウエハエッジの4つの例示的射影プロファイルである。図8のエッジプロファイルは、例えば、アンダーカット、ウィスカ、又は不適切な寸法を含む。

10

【0035】

本開示の実施形態は、自動計測と自動検査の少なくともいずれかを行うと共に、統計情報をを利用して積層ウエハの検査及び確認を行うシステム及び方法を含んでよい。システム100の前述の実施形態において、制御装置106は、下記で説明するような方法を用いて、積層ウエハ102のエッジプロファイルを分析するように構成されてよい。

【0036】

例えば、エッジ抽出アルゴリズムを第1ステップとして利用して、積層ウエハに対応する一つ以上の射影画像の検査を自動化することができる。エッジ抽出アルゴリズムは、射影画像内の角部、直線区画、及び曲線等、検査的な意義の大きい、射影画像の属性を識別することができる。例えば、検索に基づくエッジ検出、ゼロ交差に基づくエッジ検出や、他の形態的画像処理方法等、多くのエッジ検出アルゴリズムを利用できる。検索に基づく方法は、例えば、エッジ強度の測定値を最初に演算することによって、画像内のエッジを検出する。エッジ強度の測定値は、画像内の離散的データ、例えば、画像の特定の画素についての、近隣画素と対比した色、色相、又は輝度に基づいたものであってよい。エッジ強度は、画像画素の勾配の大きさ等、画像画素の一次導関数式を演算することによって測定されてよい。勾配の方向における最大勾配値（すなわち、勾配の大きさの局部方向最大値（local directional maxima of the gradient magnitude））を有する画素がエッジ画素になり、エッジは、勾配方向に対して垂直な方向にトレースされる。勾配を利用するエッジ検出アルゴリズムの一例は、Cannyエッジ検出器である。他のエッジ検出アルゴリズムを利用してもよい。Cannyエッジ検出器では、4つのフィルタを用いて、画像内の水平方向のエッジと、垂直方向のエッジと、対角方向のエッジとを検出する。エッジ検出計算は、水平方向及び垂直方向の一次導関数の値を返すことができる。この値からエッジの勾配及び方向を特定できる。すなわち、画像を数学的に分析して、色、色相、又は輝度が最も大きく変化する領域（すなわち、シルエットのエッジの領域）を特定できる。

20

【0037】

ゼロ交差に基づく方法は、画像画素から算出された二次導関数式内のゼロ交差を検索して、エッジ、例えば、ラプラシアンのゼロ交差、又は非線形微分式のゼロ交差を特定することができる。例えば、いくつかのエッジ検出オペレータは、画像内の画素光度の二次導関数に基づいたものである。これは、基本的に光度勾配の変化率を捕捉するものである。したがって、連続した事例において、二次導関数のゼロ交差の検出で、勾配の局部最大値が捕捉される。

30

【0038】

エッジ検出の前処理ステップとして、平滑化ステージ、例えば、ガウシアン平滑化が適用されてよい。他のタイプの平滑化ステージも適用できる。エッジ検出は、画像からのノイズによる影響を受ける可能性があるため、ノイズをフィルタ除去することで、一部のエッジ検出ミスを防止できる。例えば、画像を滑らかにするために、ガウシアンフィルタを適用して、画像のコンボルブを行ってもよい。このステップにより画像が少し滑らかになり得るため、画像内の個別の明瞭なノイズによって大きく影響されることがなくなる。フィルタのサイズが大きくなると、エッジ検出器のノイズに対する感度が低下する。また、ガウシアンフィルタのサイズが大きくなるにつれて、エッジを検出するローカリゼーション

40

50

ンエラーが若干増大し得る。

【0039】

他のエッジ検出ステップが実行されてもよく、非最大値抑制（画素のエッジ強度を正及び負の勾配方向の画素のエッジ強度と比較して現在の画素が最大エッジ強度を持つかどうかを判定し、勾配内の他の物を抑制すること）、及びしきい処理（所定の閾値を用いて弱い勾配値を有するエッジ画素をフィルタ除去すること）等が実行されてよい。他の代替手法を利用して、射影画像内のウエハプロファイルのエッジを検出することもできる。各手法には、それぞれ固有の利点と欠点とがあり得る。最初に、例えば、射影画像のヒストグラムを分析することによって、射影画像を2値画像に変換できる。結合成分分析を利用して、誤った外部及び内部のプロップを2値画像から除去してもよい。形態摂動を適用することによって、2値画像からプロファイルエッジマップを検出できる。10

【0040】

エッジの検出後において、チェインコードタイプのアルゴリズムは、射影シルエットの数学的記述に利用できるいくつかの選択肢のうちの一つである。他の選択肢としては、エッジトラッキング、特殊化された属性に基づく分類方法、及び光度に基づくセグメンテーションアルゴリズムが挙げられる。チェインコードタイプのアルゴリズムを利用して、指定の長さ及び方向を持つ直線区画の結合シーケンスで境界を表現できる。各区画の方向は番号付けスキームを用いることによってコード化される。各結合成分（すなわち、画像内の各「プロップ」）について、その成分のエッジ上のポイントが選択されてよく、選択されたポイントの座標が記録されてよい。次に、チェインコードアルゴリズムは、エッジに沿った移動を行うことができ、各ステップにおいて、この移動の方向を表す値が記録される。一般に、方向値は、4方向（北、東、南、及び西（N, E, S, W））、8方向、又はそれ以上の方向に基づいて選択されてよい。エッジのチェインコードは、開始点によって変化し得る。例えば、区画の左端部から開始すると、右端部から開始した場合と異なるチェインコードになり得る。ただし、チェインコードは、方向数値の円形シーケンスとして処理し、結果的に得られる数値シーケンスが整数の最小の大きさを形成するように開始点を再定義することによって、開始点について正規化することができる。チェインコードアルゴリズムは、シルエット内の各結合成分を個別に符号化することに利用できる。20

【0041】

例示的チェインコードアルゴリズムは、座標の2次元集合に関する方向を記録する。チェインコードアルゴリズムは、エッジの移動方向を離散的方向に符号化するものであり、いくつかの実施形態では、長さに符号化する。チェインコードは、8つの方向（すなわち、北、北東、東、南東、南、南西、西、及び北西（N, NE, E, SE, S, SW, W, NW）、又は座標の2次元集合におけるこれら8つの方向の等価物）を用いて表現されてよい。他の方向量を用いてもよく、より高速の演算のためには4方向（北、東、南、及び西（N, E, S, W））、より高い解像度のためには16方向（すなわち、北、北北東、北東、東北東、東、東南東、南東、南南東、南、南南西、南西、西南西、西、西北西、北西、及び北北西（N, NNE, NE, ENE, E, ESE, SE, SSE, S, SSW, SW, WSW, W, WNW, NW, NNW））や32方向のチェインコードアルゴリズム等を利用できる。一般に、チェインコードアルゴリズムは、符号化された方向の表現に文字ではなく数値を用いる。例えば、8方向のチェインコードアルゴリズムにおいて、N = 0, NE = 1, E = 2, SE = 3というようになる。数値は、通常、時計回りに割り当たられる。一実施形態において、記録されたチェインコード値は、実施の際に、数学的利便性のためにオフセットされてよい。この場合、前の例では、E = 1, NE = 2, E = 3, SE = 4等となる。チェインコード値をオフセットすると、ゼロに基づく番号付けの数学的演算を回避する上で有利になり得る。3040

【0042】

エッジ抽出アルゴリズムは、記録されたチェインコード値から区画を生成することを含んでよい。例えば、チェインコード値は、行列形式で表現することができ、エッジ位置（すなわち、エッジ検出アルゴリズムの開始ポイントから始まるエッジのその端部までの画50

素)がx軸上に位置し、チェインコード値がy軸上に位置するようになると2値行列が得られる。区画は、結合したり、削除したりできる。例えば、 1×3 バイナリマスク(例えば、[1 1 1])等のビットマスクを2値行列に適用し、その2値行列に現れる区画内のギャップを埋めることができる。いくつかの区画は、その区画が特定のしきい長さを下回る場合に削除されてよい。例えば、本アルゴリズムは、2値行列の各行を構文解析して、区画の開始点と終了点とを特定することで、区画の長さを算出できる。20画素に満たない長さの区画は削除されてよい。

【0043】

隣接する区画は、結合されてよい。例えば、各区画の重心を演算して互いに比較することができる。例えば、比較された2つの区画の重心が離れている程度が所定画素数より少なく、2つの終点が離れている程度が他の所定画素数より少ない場合、その2つの区画は結合されてよい。一実施形態において、離れている所定画素数は10画素である。これらのステップを完了することにより、積層ウエハの瑕疵領域内の小さい区画を除去することができるので、演算速度が向上し得る。セグメンテーションにより解像度が低下し得るが、解像度の損失は、曲線区画の列に特別な注意を払うことによって回避できる。例えば、隣接する曲線区画は、半円形又は他の一般的なプロファイルに結合されてよい。

10

【0044】

エッジ抽出アルゴリズムは、取り込まれた画像の画素サイズと積層ウエハとの間の既知の関係に基づいて区画を測定することを含んでもよい。測定値は、一つの区画について、又は全ての区画について演算されてよい。これらの演算は、任意の順序で実行されても、又は、チェインコード方向の順序で実行されてもよい。適切な測定値ペアは、重心距離と区画の独立性とを利用して決定されてよい。

20

【0045】

他の手法は、射影に基づくアルゴリズムを含んでよく、このアルゴリズムにおいて、積層ウエハの表面間のランドマーク位置は、隣接する区画の間の過渡領域内のエッジトレースポイントを分析することによって特定される。エッジトレースに対する局部接線角、エッジポイントの列幅行幅カウント数、過渡領域内のポイントに沿った曲率の最小半径等の属性を用いて、検査中のウエハにおいて問題となる重要なポイントの位置を正確に特定することができる。必要なランドマークの集合が検出されたら、全高、デバイスウエハ高さ、キャリアウエハ高さ、インセット幅、アンダーカット幅/高さ、過剰な接着剤寸法(幅/高さ/体積)等、各種の計測距離を測定することができる。

30

【0046】

取得した測定値は、キャリア高さ、デバイス高さ、インセット幅、キャリア高さ許容値、デバイス高さ許容値、キャリアエッジ突出閾値、デバイスエッジ突出閾値等の所定の測定値と比較されてよい。これらの比較結果は、オペレータへのレポート又はグラフィックユーザインターフェース(GUI)において表示されてよい。結果は、これらの比較内容に基づいて「合格」又は「不合格」のように簡略化されてよい。

【0047】

各射影像の比較を集計して、直径、中心オフセット、厚さ、平均全高、平均デバイス高さ、平均キャリア高さ、最小適合性、全てのアンダーカット高さの最大値、全てのアンダーカット幅の最大値、デバイスエッジ突出の最大値、キャリアエッジ下方突出の最大値、及び最大キャリア左方突出等のウエハレベルの統計を提供することができる。

40

【0048】

下記に、本開示に係るエッジ検査アルゴリズムの例示的実施形態を示す。

【0049】

A. エッジ抽出アルゴリズムは、積層ウエハの一つ以上の射影画像を受け取る、又は取り込む。受け取った画像又は取り込まれた画像は、アルゴリズムによって読み取可能なファイル形式であってよく、図1の検出器105のような画像取り込み装置によって生成されてよい。射影画像は、積層ウエハの周縁の様々な場所から取り込まれてよい。エッジ抽出アルゴリズムは、一つ以上の画像を開く。各画像は、エッジ抽出前に操作されてよい。画

50

像は、例えば、検出器の位置を基準として水平方向又は垂直方向に反転されてよい。他の操作、画像のコントラストの調整、画像からノイズを除去する各種フィルタの適用等を実行することもできる。

【0050】

B . エッジ抽出アルゴリズムは、積層ウエハのシルエットのエッジを検出する。一実施形態において、各画像の画素が分析されてよい。色、輝度、又は色調等の各画素の属性は、0 ~ 100 のスケール内に收るように正規化されてよい。画像は、正規化された属性に基づいて、0 又は 1 のいずれかの画素値を選択することによって「しきい分け (thresholded) 」することができる。

【0051】

C . エッジ抽出アルゴリズムは、画像において形態的処理を実行する。いくつかの実施形態では、侵食処理と膨張処理の少なくともいずれかが画像に対して実行されてよい。例えば、 3×3 のビットマスク

【数1】

$$\left(\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \right)$$

等が適用されてよい。ビットマスクは、複数回、適用することができる。形態的処理では、エッジ同士を結合することによって、検出されたエッジ内のギャップを閉じてよい。短いエッジは完全に削除されてよい。エッジ抽出アルゴリズムは、画像のエッジから到達できない画像領域を埋めることができる。これにより、エッジ抽出アルゴリズムは、エッジ検出プロセスによって生じた穴又はアーティファクトを埋める。

【0052】

D . エッジ抽出アルゴリズムは、例えば、チェインコードアルゴリズムと同様のアルゴリズムを利用して、積層ウエハのシルエットのエッジを検出及び符号化してよい。シルエットのエッジについてのチェインコードが決定したら、決定したチェインコードによって符号化された方向毎に、区画をフィルタ除去する、又は結合することができる。この処理は、2 値行列を作成することによって実現でき、この場合、一つの軸がチェインコード値に対応し、それ以外の軸は、エッジ検出アルゴリズムの開始ポイントから始まってエッジの終端に至るエッジの画素に対応する。一実施形態において、膨張処理を実行し、画素の半分の距離しか離れていない区画を結合してよい。区画の重心を計算して区画を結合することができる。一実施形態において、連続した区画は、x 軸上又は y 軸上で 10 画素未満しか離れていない場合に結合されてよい。結合された区画の重心を再計算して、他の区画の重心と比較することができる。

【0053】

E . エッジ抽出アルゴリズムは、取り込まれた画像内の画素サイズと積層ウエハの既知の関係に基づいて区画を測定することを含んでもよい。測定値は、1 区画について又は全区画について算出されてよい。局部接線勾配、エッジ追跡線に沿った局部曲率、水平軸上及び垂直軸上に投影されたエッジポイントの個数等の属性を用いて、表面の過渡部及び積層ウエハ内の接合物質（接着剤）を示す重要なランドマークを特定することができる。取得した測定値は、キャリア高さ、デバイス高さ、インセット幅、キャリア高さ許容値、デバイス高さ許容値、キャリアエッジ突出閾値、及びデバイスエッジ突出閾値等の所定の測定値と比較されてよい。これらの比較結果は、オペレータへのレポート又はグラフィックユーザインターフェース (GUI) に表示されてよい。結果は、比較内容に基づいて「合格」又は「不合格」のように簡略化されてよい。

【0054】

单一の積層ウエハについて、多数の射影画像を取得することができる。図 10 は、積層ウエハの外周部の周りで取得された一連の例示的射影エッジプロファイルである。図 10

10

20

30

40

50

には 16 個の画像が示されているが、ユーザは、射影画像を取得する地点の数及び位置を選択することができる。例えば、射影画像は、フルスキャンスループットにおいて、積層ウエハの外周の周りの数百のポイントで取得されてよい。積層ウエハは、光源又は検出器に対して回転されてよい。例えば、図 1 の制御装置 106 等の制御装置は、積層ウエハがプラテン上で回転しているときに複数の画像を取得できる。図 10 の例において、積層ウエハの外周についての検査で、少なくとも 22.5°、315°、及び 337.5° において不適切なプロファイルが示されている。

【 0055 】

図 11 は、本開示の実施形態に係る方法を示すフロー チャートである。点線で囲まれたステップは、省略可能である。 10

【 0056 】

単一の積層ウエハ上の複数のポイントにおける射影画像の取得は、追加のフィードバック又はウエハ全体のフィードバックを提供できる。これにより、積層ウエハのエッジプロファイルについてのより完全な結論が得られる。

【 0057 】

中心性、結合特性、過剰な接着剤、アンダーカット、ウィスカ、積層角度、又は他のエッジプロファイル特性は、本開示の実施形態を用いて検出又は測定することができる。不適切な積層ウエハは、更に加工を行う前に特定できるため、例えば、CMP 器具の損傷もしくは汚染、又は他の製造設備の損傷もしくは汚染を防止することができる。本明細書に開示したシステムの実施形態の検査スループットは、製造設定にとって十分に高いものである。積層ウエハは、不規則なものであっても、複雑な形状であっても、エッジがぎざぎざであっても、又は高い信号対雑音を持っていてもよく、これは、これまで精度よく測定できなかった、もしくは製造設定内で測定できなかったものである。実のところ、これまで測定不能であった積層ウエハは、本明細書に開示した射影画像を用いることで測定することが可能になる。 20

【 0058 】

本開示の実施形態は、接着及び結合プロセスを特徴付ける、積層ウエハのエラー又は不具合を判定又は検知することができる。例えば、ウエハの厚さ、ウエハの中心性、又はプロファイル情報を提供できる。このような情報は、他の検査器具、他の製造処理、又はウエハの加工器具への入力として利用することができる。 30

【 0059 】

本開示の実施形態を利用することで、製造スループットが影響を受けることはなく、製造スループットに対する影響を低減できる。本明細書に開示した計測プロセスと検査プロセスの両方又はその一方は、他のプロセスと同時に実行することができる。例えば、本明細書に開示した計測プロセスと検査プロセスの少なくとも一方は、検査器具の設定中に実行することができる。もちろん、本明細書に開示した計測プロセスと検査プロセスの少なくとも一方は、独立した単独のプロセスとして個別に実行することもできる。

【 0060 】

射影画像は、明視野モード及び暗視野モードに勝る複数の利点を提供する。例えば、射影画像は、アンダーカットタイプのウエハ積層瑕疵から十分な信号を受け取るが、これは、明視野モード又は暗視野モードでは実現し得ない。 40

【 0061 】

本開示について一つ以上の特定の実施形態を参照して記述したが、本開示の他の実施形態も本開示の範囲から外れることなく実施できることは理解されるであろう。したがって、本開示は、付属の請求項及びその妥当な解釈によってのみ規定されるものである。

[5] 一実施形態における非一過性コンピュータ可読記憶媒体は、一つ以上の演算装置で下記のステップを実行する一つ以上のプログラムを含む記憶媒体であって、前記ステップは、積層ウエハのエッジの少なくとも一つの射影画像を受け取ることと、前記射影画像内で前記積層ウエハのシルエットのエッジを検出することと、前記射影画像の画像分析に基づいて、前記シルエットのエッジの測定値を求めることと、前記シルエットのエッジの測 50

定値と所定の測定値とを比較することとから成る。

また、前記検出することは、検索に基づく検出、ゼロ交差に基づく検出、形態検出、又は分類検出のうちの一つを含んでもよい。また、前記射影画像の前記画像分析は、一つ以上の形態的処理を含んでもよい。また、前記形態的処理は、ビットマスクを適用することを含んでもよい。また、前記ステップは、前記ビットマスクを用いてエッジを互いに結合することを更に含んでもよい。また、前記所定の測定値は、キャリア高さ、デバイス高さ、インセット幅、キャリア高さ許容値、デバイス高さ許容値、キャリアエッジ突出閾値、及びデバイスエッジ突出閾値のうちの少なくとも一つを含んでもよい。また、前記ステップは、前記比較の結果を表示することを更に含んでもよい。

また、前記ステップは、前記積層ウエハの複数の地点における前記シルエットのエッジの前記測定値を集計することで、前記積層ウエハについての情報が提供されることを更に含んでもよい。また、前記積層ウエハについての前記情報は、直径、中心オフセット、厚さ、平均全高、平均デバイス高さ、平均キャリア高さ、最小適合性、全てのアンダーカット高さの最大値、全てのアンダーカット幅の最大値、デバイスエッジ突出の最大値、キャリアエッジ下方突出の最大値、及び最大キャリア左方突出のうちの少なくとも一つを含んでもよい。また、前記ステップは、チェインコードアルゴリズムを用いて前記シルエットのエッジを符号化することを更に含み、前記チェインコードアルゴリズムは、画素行列を作成することを含んでもよい。また、前記検出することは、ヒストグラム分析、セグメンテーション分析、又はレイトレーシングアルゴリズムのいずれかを含んでもよい。

[16]一実施形態における方法は、検出器を用いて積層ウエハの射影画像を取得し、前記射影画像内の前記積層ウエハのシルエットの測定値と所定の測定値とを制御装置を用いて比較する。また、前記所定の測定値は、キャリア高さ、デバイス高さ、インセット幅、キャリア高さ許容値、デバイス高さ許容値、キャリアエッジ突出閾値、及びデバイスエッジ突出閾値のうちの少なくとも一つを含んでもよい。また、上記した方法は、前記積層ウエハを回転させて、前記積層ウエハのエッジに沿った異なるポイントで複数の射影画像を取得することを更に含んでもよい。また、上記した方法は、前記複数の射影画像内の前記シルエットの前記測定値を集計して、前記積層ウエハについての情報を提供することを更に含んでもよい。また、前記積層ウエハについての情報は、直径、中心オフセット、厚さ、平均全高、平均デバイス高さ、平均キャリア高さ、最小適合性、全てのアンダーカット高さの最大値、全てのアンダーカット幅の最大値、デバイスエッジ突出の最大値、キャリアエッジ下方突出の最大値、最大キャリア左方突出のうちの少なくとも一つを含んでもよい。

10

20

30

【図1】

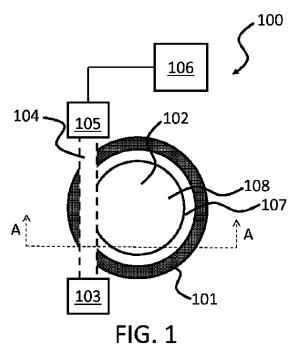


FIG. 1

【図3】

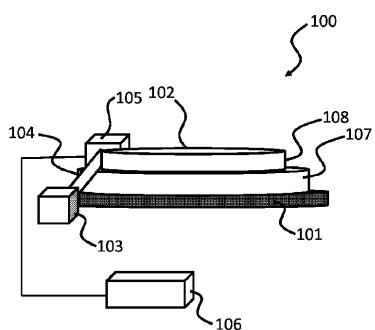


FIG. 3

【図2】

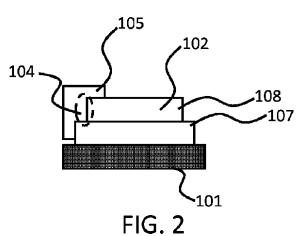
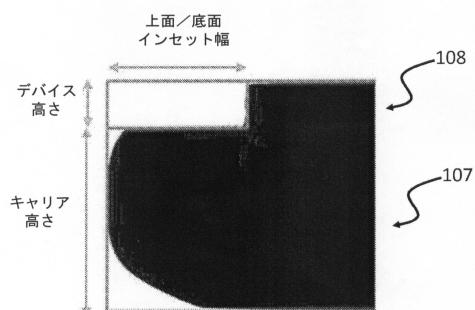
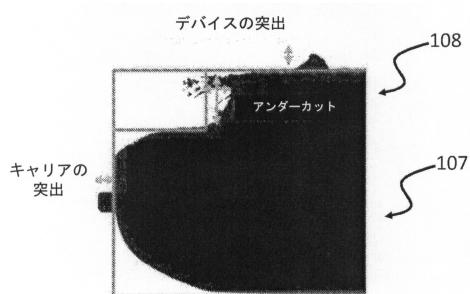


FIG. 2

【図4】



【図5】



【図6】

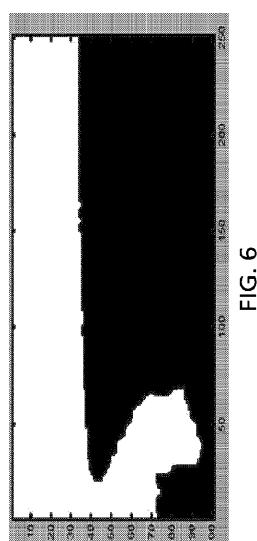
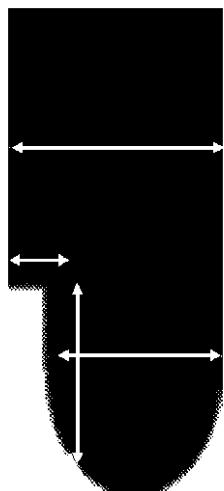


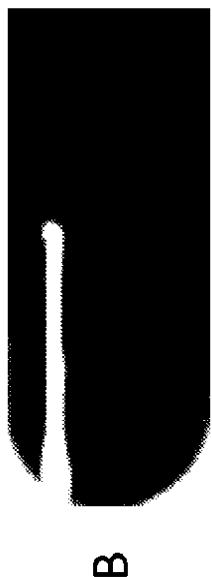
FIG. 6

【図7A】



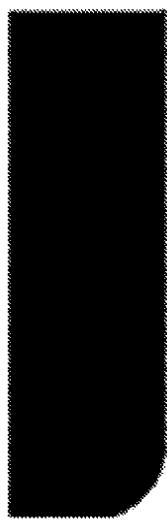
A

【図 7 B】



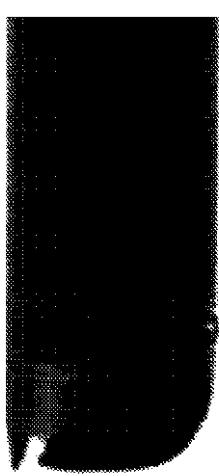
B

【図 7 C】



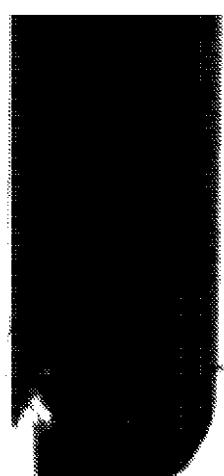
C

【図 7 D】



D

【図 7 E】



E

【図 7 F】



【図 8】

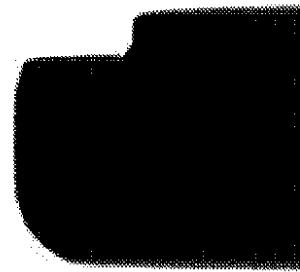


FIG. 8

【図 9】

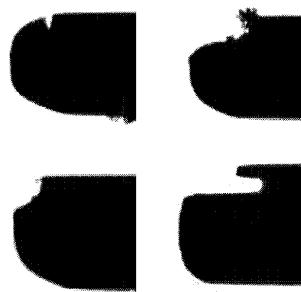
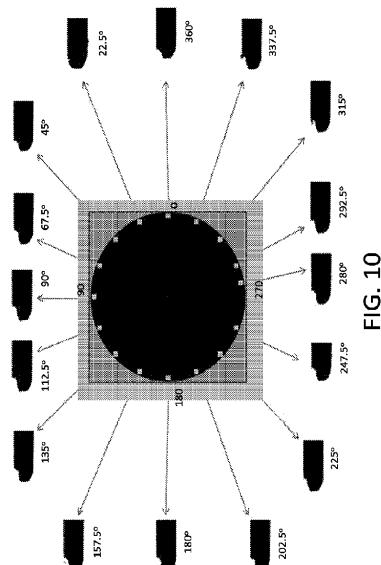
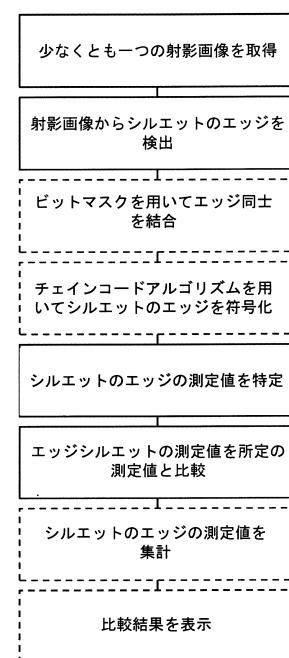


FIG. 9

【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
G 0 6 T 7/60 (2017.01) G 0 6 T 7/60 3 0 0 A
G 0 6 T 1/00 (2006.01) G 0 6 T 1/00 3 0 5 A

(72)発明者 リース ブラドレイ
アメリカ合衆国 カリフォルニア サン ノゼ ヒラバヤシ ドライブ 6 4 8 1

(72)発明者 マハデヴァン モハン
アメリカ合衆国 カリフォルニア サンタ クララ リバー サイド コート 4 0 6 3 0 6

審査官 九鬼 一慶

(56)参考文献 特開2012-007898 (JP, A)
米国特許出願公開第2009/0196489 (US, A1)
特開2007-095881 (JP, A)
特開2009-036609 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 0 1 B 1 1 / 0 0 - 1 1 / 3 0
G 0 6 T 1 / 0 0
G 0 6 T 7 / 6 0
H 0 1 L 2 1 / 6 6