

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号
特開2023-106295
(P2023-106295A)

(43)公開日 令和5年8月1日(2023.8.1)

(51)国際特許分類

F I

テーマコード (参考)

H 0 1 L 21/66 (2006.01) H 0 1 L 21/66 J 4 M 1 0 6

G 0 6 T 7/60 (2017.01) G 0 6 T 7/60 1 5 0 G 5 L 0 9 6

審査請求		未請求	請求項の数	20	O L	外国語出願	(全25頁)
(21)出願番号	特願2022-183388(P2022-183388)		(71)出願人	504144253			
(22)出願日	令和4年11月16日(2022.11.16)			アプライド マテリアルズ イスラエル			
(31)優先権主張番号	17/580,541			リミテッド			
(32)優先日	令和4年1月20日(2022.1.20)			イスラエル, 7 6 7 0 5 レホヴォト,			
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)			パーク ラビン, オッペンハイマー ス			
				トリート 9			
(特許庁注：以下のものは登録商標)			(74)代理人	100094569			
1. M A T L A B				弁理士 田中 伸一郎			
			(74)代理人	100103610			
				弁理士 ▲吉▼田 和彦			
			(74)代理人	100109070			
				弁理士 須田 洋之			
			(74)代理人	100067013			
				弁理士 大塚 文昭			
			(74)代理人	100086771			
			最終頁に続く				

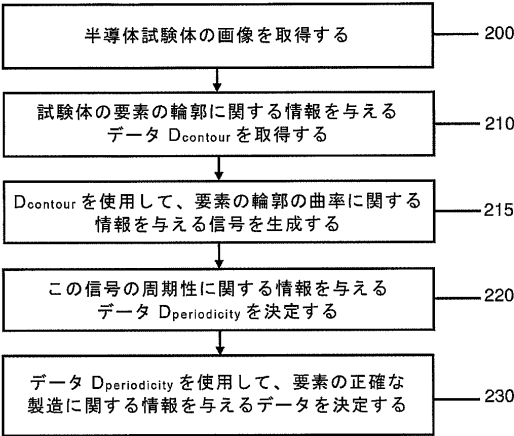
(54)【発明の名称】 試験体の構造要素の形状解析による試験体の製造プロセスの安定化

(57)【要約】

【課題】試験体の検査を自動化すること。

【解決手段】検査ツールによって取得された半導体試験体の要素の輪郭に関する情報を与えるデータD_{contour}を取得するステップと、データD_{contour}を使用して、要素の輪郭の曲率に関する情報を与える信号を生成するステップと、信号の周期性に関する情報を与えるデータD_{periodicity}、および信号の不連続部の数に関する情報を与えるデータD_{discontinuities}であり、それぞれの不連続部が、輪郭の凸部と輪郭の凹部の間の遷移に関する情報を与える、データD_{discontinuities}のうちの少なくとも一方を決定するステップと、データD_{periodicity}およびデータD_{discontinuities}のうちの少なくとも一方を使用して、要素の正しい製造に関する情報を与えるデータを決定するステップとを含むシステムおよび方法が提供される。

【選択図】図2A



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

半導体試験体の検査システムであって、前記システムがプロセッサおよびメモリ回路（PMC）を備え、前記PMCが、

－検査ツールによって取得された前記半導体試験体の要素の輪郭に関する情報を与えるデータ D_{contour} を取得し、

－前記データ D_{contour} を使用して、前記要素の前記輪郭の曲率に関する情報を与える信号を生成し、

－○前記信号の周期性に関する情報を与えるデータ $D_{\text{periodicity}}$ 、および

○前記信号の不連続部の数に関する情報を与えるデータ $D_{\text{discontinuities}}$ であり、それぞれの不連続部が、前記輪郭の凸部と前記輪郭の凹部の間の遷移に関する情報を与える、前記データ $D_{\text{discontinuities}}$

のうちの少なくとも一方を決定し、

－前記データ $D_{\text{periodicity}}$ および前記データ $D_{\text{discontinuities}}$ のうちの少なくとも一方を使用して、前記要素の正しい製造に関する情報を与えるデータを決定するように構成された、システム。

【請求項 2】

前記要素の前記輪郭が、期待される形状を有し、前記システムが、 $D_{\text{periodicity}}$ を使用して、前記輪郭と前記期待される形状とは異なる形状との類似性に関する情報を与えるデータを決定するように構成された、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 3】

前記形状が多角形である、請求項 2 に記載のシステム。

【請求項 4】

前記形状が、頂点の数 N を有する多角形であり、前記信号の前記周期性と前記数 N との間の一致性が高いほど前記類似性も高い、請求項 2 に記載のシステム。

【請求項 5】

データ $D_{\text{discontinuities}}$ を使用して、前記要素の前記輪郭の曲がりくねりに関する情報を与えるデータを生成するように構成された、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 6】

前記要素の前記輪郭の曲率に関する情報を与える前記信号が、前記要素の前記輪郭の前記曲率の変動に関する情報を与える、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 7】

前記要素の前記輪郭の曲率に関する情報を与える前記信号が、前記輪郭の法線の方角の、前記輪郭に沿った進展に関する情報を与える、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 8】

しきい値よりも大きな振幅を有する前記信号の不連続部を検出して、 $D_{\text{discontinuities}}$ を生成するように構成された、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 9】

データ $D_{\text{periodicity}}$ を使用して、

前記輪郭と第 1 の形状との類似性に関する情報を与える第 1 のスコアと、

前記輪郭と第 2 の形状との類似性に関する情報を与える第 2 のスコアであり、前記第 2 の形状が前記第 1 の形状とは異なる、前記第 2 のスコアと、

前記第 1 のスコアおよび前記第 2 のスコアに基づく集約スコアと

を生成するように構成された、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 10】

データ $D_{\text{periodicity}}$ が、

前記周期性が第 1 の数 N_1 に等しい見通し P_1 と、

前記周期性が第 2 の数 N_2 に等しい見通し P_2 であり、 N_2 が N_1 とは異なる、前記見通し P_2 と

を含む、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 1 1】

前記第 1 の見通し P_1 を使用して、前記輪郭と第 1 の形状との類似性に関する情報を与える第 1 のスコアを生成し、

前記第 2 の見通し P_2 を使用して、前記輪郭と第 2 の形状との類似性に関する情報を与える第 2 のスコアであり、前記第 2 の形状が前記第 1 の形状とは異なる、前記第 2 のスコアを生成する

ように構成された、請求項 1 0 に記載のシステム。

【請求項 1 2】

前記第 1 の形状が、頂点の数 N_1 を有する多角形であり、

前記第 2 の形状が、頂点の数 N_2 を有する多角形である、

請求項 1 1 に記載のシステム。

【請求項 1 3】

前記要素の前記輪郭に沿った複数の位置のうちの所与のそれぞれの位置について、

その所与の位置における前記輪郭の法線、および

その所与の位置から前記要素の重心へ向かう方向

を決定し、

所与のそれぞれの位置について、前記法線と前記方向との間の角度差に関する情報を与えるデータを生成し、

前記データを使用して、前記要素の前記輪郭の曲率に関する情報を与える前記信号を取得する

ように構成された、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 1 4】

前記要素の前記輪郭の曲率に関する情報を与える前記信号を周波数ドメインの信号に変換し、

前記周波数ドメインの前記信号を使用して $D_{\text{periodicity}}$ を決定する

ように構成された、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 1 5】

半導体試験体の検査方法であって、前記方法が、プロセッサおよびメモリ回路（PMC）によって、

— 検査ツールによって取得された前記半導体試験体の要素の輪郭に関する情報を与えるデータ D_{contour} を取得するステップと、

— 前記データ D_{contour} を使用して、前記要素の前記輪郭の曲率に関する情報を与える信号を生成するステップと、

— ○ 前記信号の周期性に関する情報を与えるデータ $D_{\text{periodicity}}$ 、および

○ 前記信号の不連続部の数に関する情報を与えるデータ $D_{\text{discontinuities}}$ であり、それぞれの不連続部が、前記輪郭の凸部と前記輪郭の凹部の間の遷移に関する情報を与える、前記データ $D_{\text{discontinuities}}$

のうちの少なくとも一方を決定するステップと、

— 前記データ $D_{\text{periodicity}}$ および前記データ $D_{\text{discontinuities}}$ のうちの少なくとも一方を使用して、前記要素の正しい製造に関する情報を与えるデータを決定するステップとを含む方法。

【請求項 1 6】

前記要素の前記輪郭が、期待される形状を有し、前記方法が、 $D_{\text{periodicity}}$ を使用して、前記輪郭と前記期待される形状とは異なる形状との類似性に関する情報を与えるデータを決定するステップを含む、請求項 1 5 に記載の方法。

【請求項 1 7】

前記形状が、頂点の数 N を有する多角形であり、前記信号の前記周期性と前記数 N との間の一致性が高いほど前記類似性も高い、請求項 1 5 に記載の方法。

【請求項 1 8】

データ $D_{\text{discontinuities}}$ を使用して、前記要素の前記輪郭の曲がりくねりに関する情

10

20

30

40

50

報を与えるデータを生成するステップを含む、請求項 15 に記載の方法。

【請求項 19】

前記要素の前記輪郭に沿った複数の位置のうちの所与のそれぞれの位置について、その所与の位置における前記輪郭の法線、およびその所与の位置から前記要素の重心へ向かう方向を決定するステップと、所与のそれぞれの位置について、前記法線と前記方向との間の角度差に関する情報を与えるデータを生成するステップと、前記データを使用して、前記要素の前記輪郭の曲率に関する情報を与える前記信号を取得するステップとを含む、請求項 15 に記載の方法。

10

【請求項 20】

命令を含む非一過性コンピュータ可読媒体であって、前記命令が、プロセッサおよびメモリ回路（PMC）によって実行されたときに、
－検査ツールによって取得された前記半導体試験体の要素の輪郭に関する情報を与えるデータ D_{contour} を取得する操作と、
－前記データ D_{contour} を使用して、前記要素の前記輪郭の曲率に関する情報を与える信号を生成する操作と、
－○前記信号の周期性に関する情報を与えるデータ $D_{\text{periodicity}}$ 、および○前記信号の不連続部の数に関する情報を与えるデータ $D_{\text{discontinuities}}$ であり、それぞれの不連続部が、前記輪郭の凸部と前記輪郭の凹部の間の遷移に関する情報を与える、前記データ $D_{\text{discontinuities}}$ のうちの少なくとも一方を決定する操作と、
－前記データ $D_{\text{periodicity}}$ および前記データ $D_{\text{discontinuities}}$ のうちの少なくとも一方を使用して、前記要素の正しい製造に関する情報を与えるデータを決定する操作とを含む操作を前記 PMC に実行させる、非一過性コンピュータ可読媒体。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本明細書に開示された主題は、一般に試験体（specimen）の検査（examination）の分野に関し、より詳細には、試験体の検査を自動化することに関する。

30

【背景技術】

【0002】

製造されたデバイスの超大規模集積に関連した高い密度および高い性能に対する現在の要求には、 $1\mu\text{m}$ 未満の特徴、トランジスタおよび回路速度の増大、ならびに信頼性の向上が必要である。このような要求には、高い精度および高い均一性を有するデバイス特徴の形成が必要であり、そのようなデバイス特徴の形成には、デバイスがまだ半導体ウエハの形態にある間のデバイスの自動化された検査を含む、製造プロセスの注意深いモニタリングが必要である。

【0003】

検査プロセスは、試験体の欠陥を検出および分類するために半導体製造中のさまざまなステップで使用されている。例えば自動欠陥分類（Automatic Defect Classification）（ADC）、自動欠陥レビュー（Automatic Defect Review）（ADR）などとしてプロセスを自動化することにより、検査の有効性を増大させることができる。

40

【発明の概要】

【0004】

本明細書に開示された主題のある態様によれば、半導体試験体の検査システムが提供され、このシステムはプロセッサおよびメモリ回路（processor and memory circuitry）（PMC）を備え、このPMCは、検査ツールによって取

50

得された半導体試験体の要素の輪郭 (c o n t o u r) に関する情報を与えるデータ $D_{c o n t o u r}$ を取得し、データ $D_{c o n t o u r}$ を使用して、要素の輪郭の曲率に関する情報を与える信号を生成し、この信号の周期性 (p e r i o d i c i t y) に関する情報を与えるデータ $D_{p e r i o d i c i t y}$ 、およびこの信号の不連続部 (d i s c o n t i n u i t y) の数に関する情報を与えるデータ $D_{d i s c o n t i n u i t i e s}$ であり、それぞれの不連続部が、輪郭の凸部と輪郭の凹部の間の遷移に関する情報を与える、データ $D_{d i s c o n t i n u i t i e s}$ のうちの少なくとも一方を決定し、データ $D_{p e r i o d i c i t y}$ およびデータ $D_{d i s c o n t i n u i t i e s}$ のうちの少なくとも一方を使用して、要素の正しい製造 (c o r r e c t m a n u f a c t u r i n g) に関する情報を与えるデータを決定するように構成されている。

【0005】

10

いくつかの実施形態によれば、要素の輪郭が、期待される形状を有し、このシステムが、 $D_{p e r i o d i c i t y}$ を使用して、輪郭と期待される形状とは異なる形状との類似性 (s i m i l a r i t y) に関する情報を与えるデータを決定するように構成されている。

【0006】

いくつかの実施形態によれば、この形状が多角形である。

【0007】

いくつかの実施形態によれば、この形状が、頂点の数 N を有する多角形であり、この信号の周期性と数 N との間の一致性 (c o r r e p o n d e n c e) が高いほど類似性も高い。

【0008】

20

いくつかの実施形態によれば、このシステムが、データ $D_{d i s c o n t i n u i t i e s}$ を使用して、要素の輪郭の曲がりくねり (c u r l i n e s s) に関する情報を与えるデータを生成するように構成されている。

【0009】

いくつかの実施形態によれば、要素の輪郭の曲率に関する情報を与える信号が、要素の輪郭の曲率の変動に関する情報を与える。

【0010】

いくつかの実施形態によれば、要素の輪郭の曲率に関する情報を与える信号が、輪郭の法線の方角の、輪郭に沿った進展 (e v o l u t i o n) に関する情報を与える。

【0011】

30

いくつかの実施形態によれば、このシステムが、しきい値よりも大きな振幅を有する信号の不連続部を検出して、 $D_{d i s c o n t i n u i t i e s}$ を生成するように構成されている。

【0012】

いくつかの実施形態によれば、このシステムが、データ $D_{p e r i o d i c i t y}$ を使用して、輪郭と第1の形状との類似性に関する情報を与える第1のスコアと、輪郭と第2の形状との類似性に関する情報を与える第2のスコアであり、第2の形状が第1の形状とは異なる、第2のスコアと、第1のスコアおよび第2のスコアに基づく集約スコア (a g g r e g a t e d s c o r e) とを生成するように構成されている。

【0013】

40

いくつかの実施形態によれば、データ $D_{p e r i o d i c i t y}$ が、周期性が第1の数 N_1 に等しい見通し (p r o s p e c t) P_1 と、周期性が第2の数 N_2 に等しい見通し P_2 であり、 N_2 が N_1 とは異なる、見通し P_2 とを含む。

【0014】

いくつかの実施形態によれば、このシステムが、第1の見通し P_1 を使用して、輪郭と第1の形状との類似性に関する情報を与える第1のスコアを生成し、第2の見通し P_2 を使用して、輪郭と第2の形状との類似性に関する情報を与える第2のスコアであり、第2の形状が第1の形状とは異なる、第2のスコアを生成するように構成されている。

【0015】

いくつかの実施形態によれば、第1の形状が、頂点の数 N_1 を有する多角形であり、第2の形状が、頂点の数 N_2 を有する多角形である。

50

【0016】

いくつかの実施形態によれば、このシステムが、要素の輪郭に沿った複数の位置のうちの所与のそれぞれの位置について、その所与の位置における輪郭の法線、およびその所与の位置から要素の重心へ向かう方向を決定し、所与のそれぞれの位置について、法線と方向との間の角度差に関する情報を与えるデータを生成し、このデータを使用して、要素の輪郭の曲率に関する情報を与える信号を取得するように構成されている。

【0017】

いくつかの実施形態によれば、このシステムが、要素の輪郭の曲率に関する情報を与える信号を周波数ドメインの信号に変換し、この周波数ドメインの信号を使用して $D_{\text{periodicity}}$ を決定するように構成されている。

10

【0018】

本明細書に開示された主題のある態様によれば、半導体試験体の検査方法が提供され、この方法は、プロセッサおよびメモリ回路（PMC）によって、検査ツールによって取得された半導体試験体の要素の輪郭に関する情報を与えるデータ D_{contour} を取得するステップと、データ D_{contour} を使用して、要素の輪郭の曲率に関する情報を与える信号を生成するステップと、この信号の周期性に関する情報を与えるデータ $D_{\text{periodicity}}$ 、およびこの信号の不連続部の数に関する情報を与えるデータ $D_{\text{discontinuities}}$ であり、それぞれの不連続部が、輪郭の凸部と輪郭の凹部の間の遷移に関する情報を与える、データ $D_{\text{discontinuities}}$ のうちの少なくとも一方を決定するステップと、データ $D_{\text{periodicity}}$ およびデータ $D_{\text{discontinuities}}$ のうちの少なくとも一方を使用して、要素の正しい製造に関する情報を与えるデータを決定するステップとを含む。

20

【0019】

いくつかの実施形態によれば、要素の輪郭が、期待される形状を有し、この方法が、 $D_{\text{periodicity}}$ を使用して、輪郭と期待される形状とは異なる形状との類似性に関する情報を与えるデータを決定するステップを含む。

【0020】

いくつかの実施形態によれば、この形状が、頂点の数 N を有する多角形であり、この信号の周期性と数 N との間の一致性が高いほど類似性も高い。

【0021】

いくつかの実施形態によれば、この方法が、データ $D_{\text{discontinuities}}$ を使用して、要素の輪郭の曲がりくねりに関する情報を与えるデータを生成するステップを含む。

30

【0022】

いくつかの実施形態によれば、この方法が、要素の輪郭に沿った複数の位置のうちの所与のそれぞれの位置について、その所与の位置における輪郭の法線、およびその所与の位置から要素の重心へ向かう方向を決定するステップと、所与のそれぞれの位置について、法線と方向との間の角度差に関する情報を与えるデータを生成するステップと、このデータを使用して、要素の輪郭の曲率に関する情報を与える信号を取得するステップとを含む。

【0023】

いくつかの実施形態によれば、この方法が、上記のシステムに関して説明した特徴のうちの1つまたは複数を実施することができる。

40

【0024】

本明細書に開示された主題のある態様によれば、命令を含む非一過性コンピュータ可読媒体が提供され、この命令は、プロセッサおよびメモリ回路（PMC）によって実行されたときに、上記の方法をPMCに実行させる。

【0025】

いくつかの実施形態によれば、提案した解決策は、試験体の要素の製造プロセスの異常を効率的かつロバストに決定することを可能にする。具体的には、提案した解決策を使用して要素の製造プロセスを安定させることができる。

【0026】

50

いくつかの実施形態によれば、提案した解決策は、構造要素が、どの程度、期待される形状とは異なる形状に従って製造されているのかを正確かつ効率的に決定することを可能にする。具体的には、いくつかの実施形態によれば、要素とこの形状との類似性に関する情報を与えるデータが提供される。したがって、要素と1つまたは複数の形状との類似性を定量化することができる。このことは、製造プロセスに対しておよび／または試験体に対してどの是正処置をとるべきかをユーザが判断することを可能にする。

【0027】

いくつかの実施形態によれば、提案した解決策は、参照画像を使用することを必要とせず、単一の画像に基づいて機能することができる。いくつかの実施形態によれば、提案した解決策は、フレキシブルであり、要素のさまざまなタイプの製造プロセスに適合させることができる。いくつかの実施形態によれば、提案した解決策は、構造要素と1つまたは複数の所定の形状との間の類似性を測定する1つまたは複数の所定の形状をユーザが選択することを可能にする。

【0028】

いくつかの実施形態によれば、提案した解決策は、要素の輪郭の曲がりくねりおよび／またはプロセス変動を検出することを可能にする。

【0029】

いくつかの実施形態によれば、提案した解決策は、NAND層の正しい製造を効率的かつ正確に判定することを可能にする。

【0030】

いくつかの実施形態によれば、提案した解決策は数値的に効率的である。具体的には、提案した解決策は、生産環境で高速に実行することができる。

【0031】

いくつかの実施形態によれば、提案した解決策はロバストである。

【0032】

次に、本開示を理解するため、および本開示を実際にどのように実施することができるのかを知るために、添付図面を参照して実施形態を、単なる非限定的な例として説明する。

【図面の簡単な説明】

【0033】

【図1】本明細書に開示された主題のある実施形態による検査システムの一般化されたブロック図である。

【図2A】要素の輪郭の曲率に関する情報を与える信号を使用して要素の正しい製造に関する情報を与えるデータを決定する方法の一般化された流れ図である。

【図2B】試験体内の要素の画像の非限定的な例を示す図である。

【図2C】図2Bに示された要素の輪郭の非限定的な例を示す図である。

【図3A】要素の輪郭の曲率に関する情報を与える信号を決定する方法の一般化された流れ図である。

【図3B】楕円形の要素上での図3Aの方法の使用の非限定的な例を示す図である。

【図4】要素の輪郭の曲率に関する情報を与える信号の非限定的な例を示す図である。

【図5】要素の輪郭の曲率に関する情報を与える信号のピークの数と周波数ドメインでの変換を使用して決定する方法の一般化された流れ図である。

【図6A】要素の輪郭の非限定的な例を、その要素の期待される輪郭に対して示す図である。

【図6B】図6Aに示された要素の輪郭の曲率に関する情報を与える信号を示す図である。

【図6C】図6Bの信号の周波数表現を示す図である。

【図6D】図6Aの要素と異なる多角形との類似性を示す確率を示す図である。

【図6E】要素の輪郭の非限定的な例を、その要素の期待される輪郭に対して示す図である。

10

20

30

40

50

【図 6 F】図 6 E に示された要素の輪郭の曲率に関する情報を与える信号を示す図である。

【図 6 G】図 6 F の信号の周波数表現を示す図である。

【図 6 H】図 6 E の要素と異なる多角形との類似性を示す確率を示す図である。

【図 7】要素の輪郭の曲率に関する情報を与える信号の不連続部の数を使用して要素の正しい製造を判定する方法の一般化された流れ図である。

【図 8 A】要素の輪郭の非限定的な例を、その要素の期待される輪郭に対して示す図である。

【図 8 B】図 8 A に示された要素の輪郭の曲率に関する情報を与える信号を示す図である。

【図 8 C】輪郭の法線に関する情報を与える信号の不連続部を示す図であり、この不連続部は、要素の輪郭の凸部と凹部の間の遷移に関する情報を与える。

【発明を実施するための形態】

【0034】

以下の詳細な説明では、本開示の完全な理解を提供するために多数の特定の詳細が示される。しかしながら、それらの特定の詳細なしでも本明細書に開示された主題を実施することができることを当業者は理解するであろう。他の例として、本明細書に開示された主題を不明瞭にすることがないように、よく知られた方法、手順、構成要素および回路は詳細には説明されていない。

【0035】

以下の議論から明らかとなっており、そうではないと特に明示されていない限り、本明細書の全体を通じて、「使用する」、「取得する」、「決定する」、「生成する」、「検出する」、「変換する」などの用語を利用した議論は、データを操作しかつ／またはデータを他のデータに変換するコンピュータの動作および／または処理にすることが理解される。前記データは電子量などの物理量として表され、かつ／または前記データは物理的物体を表す。用語「コンピュータ」は、本出願に開示されたシステム 103 およびシステム 103 の対応するそれぞれの部分を非限定的な例として含む、（プロセッサおよびメモリ回路などの）データ処理機能を有するハードウェアベースの任意の種類の電子装置を包含すると拡張的に解釈すべきである。

【0036】

本明細書で使用されている用語「非一過性メモリ」は、本明細書に開示された主題に適した任意の揮発性または不揮発性コンピュータメモリを包含すると拡張的に解釈すべきである。

【0037】

本明細書で使用されている用語「試験体」は、半導体集積回路、磁気ヘッド、フラットパネルディスプレイおよび他の半導体で製造された物品を製造するために使用される任意の種類のウェハ、マスクおよび他の構造体、これらの組合せならびに／またはこれらの部分を包含すると拡張的に解釈すべきである。

【0038】

本明細書で使用されている用語「検査」は、計測に関係した任意の種類の操作、ならびに試験体の製造中に試験体の欠陥を検出および／または分類することに関係した操作を包含すると拡張的に解釈すべきである。検査は、検査対象の試験体の製造中または製造後に非破壊検査ツールを使用することによって提供される。非限定的な例として、検査プロセスは、同じまたは異なる検査ツールを使用して試験体もしくは試験体の部分に関して提供される、実行時走査（1 回もしくは多数回の走査）、サンプリング、レビュー、測定、分類および／または他の操作を含むことができる。同様に、検査は、検査対象の試験体を製造する前に提供することもでき、例えば、検査レシピおよび／または他の準備操作を生成することを含むことができる。そうではないと特に明示されていない限り、本明細書で使用されている用語「検査」またはその派生語は、検査エリアの分解能またはサイズに関して限定されないことに留意されたい。さまざまな非破壊検査ツールは、非限定的な例とし

10

20

30

40

50

て、走査電子顕微鏡、原子間力顕微鏡、光学検査ツールなどを含む。

【0039】

そうではないと特に明示されていない限り、別々の実施形態の文脈で説明された、本明細書に開示された主題のある特徴を、単一の実施形態において組み合わせることもできることが理解される。反対に、単一の実施形態の文脈で説明された、本明細書に開示された主題のさまざまな特徴を、別個に提供することまたは適当な任意の下位組合せ（*sub-combination*）で提供することもできる。以下の詳細な説明では、これらの方法および装置の徹底的な理解を提供するために、多数の特定の詳細が示される。

【0040】

このことに留意して図1に注目する。図1は、本明細書に開示された主題のある実施形態による検査システムの機能ブロック図を示している。試験体製造プロセスの部分として、図1に示された検査システム100を使用して、試験体（例えばウエハおよび／またはウエハの部分）を検査することができる。図示の検査システム100は、試験体製造中に取得された画像を使用して計測に関係した情報を自動的に決定することができるコンピュータベースのシステム103を備える。システム103は、1つもしくは複数の低分解能検査ツール101、および／または1つもしくは複数の高分解能検査ツール102、および／または他の検査ツールに動作可能に接続されたものとして行うことができる。これらの検査ツールは、画像を捕捉し、かつ／または捕捉された画像をレビューし、かつ／または捕捉した画像に関係した測定を可能にしもしくは提供するように構成されている。

【0041】

システム103は、プロセッサおよびメモリ回路（PMC）104を含む。後にさらに詳説するように、PMC104は、システム103を動作させるのに必要な全ての処理を提供するように構成されており（システム103によって少なくとも部分的に実行することができる、図2A、3A、5および7で説明する方法を参照されたい）、プロセッサ（別個には示されていない）およびメモリ（別個には示されていない）を含む。

【0042】

システム103は、入力データを受け取るように構成されている。入力データは、検査ツールによって生成されたデータ（および／またはそれらのデータの派生物および／またはそれらのデータに関連したメタデータ）を含むことができる。入力データは、画像（例えば捕捉された画像、捕捉された画像から導き出された画像、シミュレートされた画像、合成画像など）、および関連する数値データ（例えばメタデータ、手動で入力された属性など）を含むことができることに留意されたい。さらに、画像データは、関心の層および／または試験体の他の1つもしくは複数の層に関係したデータを含むことができることに留意されたい。

【0043】

非限定的な例として、1つまたは複数の低分解能検査機101（例えば光学検査システム、低分解能SEMなど）によって試験体を検査することができる。試験体の低分解能画像に関する情報を与える結果として生じるデータ（以後、低分解能画像データ121と呼ぶ）は、直接にまたは1つもしくは複数の中間システムを介してシステム103に送信することができる。その代わりにまたはそれに加えて、高分解能機102（例えば走査電子顕微鏡（SEM）または原子間力顕微鏡法（AFM））によって試験体を検査することもできる。試験体の高分解能画像に関する情報を与える結果として生じるデータ（以後、高分解能画像データ122と呼ぶ）は、直接にまたは1つもしくは複数の中間システムを介してシステム103に送信することができる。いくつかの実施形態によれば、この検査機が、半導体ウエハ上に形成された微細パターンの寸法を測定するための測長走査電子顕微鏡（Critical Dimension Scanning Electron Microscope）（CD-SEM）である。

【0044】

画像データは、その画像データに関連したメタデータ（例えばピクセルサイズ、欠陥タイプのテキスト記述、画像捕捉プロセスのパラメータなど）と一緒に受け取り、処理する

ことができることに留意されたい。

【0045】

入力データ（例えば低分解能画像データおよび／または高分解能画像データ、ならびに任意選択で例えば設計データ、合成データなどの他のデータ）を処理した後、システム103は、結果をいずれかの検査ツールに送信すること、結果をストレージシステム107に記憶すること、結果をGUI108によってレンダリングすること、および／または結果を外部システム（例えばFABのイールドマネジメントシステム（Yield Management System））に送信することができる。

【0046】

本明細書に開示された主題の教示は図1に示されたシステムによって拘束されないこと、ならびに等価の機能および／または修正された機能を、別のやり方で統合または分割することができ、ソフトウェアとファームウェアおよび／またはソフトウェアとハードウェアの適切な任意の組合せで実施することができることを当業者は容易に理解するであろう。

【0047】

本開示の範囲をいかなる形であれ限定することなく、これらの検査ツールを、光学撮像機、電子ビーム検査機などのさまざまなタイプの検査機として実施することができることも留意されたい。いくつかのケースでは、同じ検査ツールが、低分解能画像データおよび高分解能画像データを提供することができる。いくつかのケースでは、少なくとも1つの検査ツールが計測能力を有することができる。

【0048】

図1に示された検査システムは、分散コンピューティング環境で実施することができ、分散コンピューティング環境では、図1に示された上述の機能モジュールを、いくつかのローカルおよび／またはリモートデバイス上に分散することができ、通信ネットワークを介してリンクすることができることに留意されたい。システム103は、検査ツールとともに使用される独立型コンピュータとして実施することができる。あるいは、システムの対応するそれぞれの機能を、少なくとも部分的に、1つまたは複数の検査ツールと統合することもできる。

【0049】

次に図2Aに注目する。この方法は、半導体試験体の画像を取得すること（操作200）を含む。この画像は、検査ツール101および／または102などの検査ツールによって取得することができる。いくつかの実施形態ではこの検査ツールが計測ツールである。

【0050】

この試験体は1つまたは複数の要素（例えば構造要素）を含む。要素の例は例えばコンタクト、トランジスタ、ゲートなどを含む。これらの例に限定されるわけではない。

【0051】

この方法は、この画像中に存在する試験体の少なくとも1つの要素について、要素の輪郭に関する情報を与えるデータD_{contour}を取得すること（操作210）を含む。後に説明するが、D_{contour}は、この画像を使用して生成することができる。いくつかの実施形態では、この方法が、D_{contour}を直接に取得することを含み、このD_{contour}は、試験体の画像を使用して生成されたものである。

【0052】

この輪郭は例えば、その要素を画像の残りの部分から分離する要素の外境界に対応する。輪郭の内部に位置する画像のエリアは要素の内部エリアに対応する。

【0053】

図2Bは、試験体の画像259中のコンタクトの非限定的な例を示している。コンタクト260は、輪郭261および輪郭261の内部に位置する内部エリア262を含む。

【0054】

D_{contour}は例えば画像の点のリストを含むことができ（これらの点は、画像のピクセル、および／または画像のピクセル間の補間を使用して取得された点に対応する）、そ

10

20

30

40

50

れぞれの点は、画像の第1の方向に沿った第1の座標（「X」座標）および画像の第2の方向に沿った第2の座標（「Y」座標）に関連づけられている。この点のリストの中の点と点の間を接合したものがその要素の輪郭に対応する。要素260に関して取得された D_{contour} の非限定的な例（263を参照されたい）が図2Cに示されている。他の実施形態では、 D_{contour} が、2次元平面における要素の輪郭の断面／位置を画定する連続線を含みうる。

【0055】

D_{contour} はさまざまな方法を使用して取得することができる。いくつかの実施形態によれば、検査ツールによって取得された画像上でセグメント化プロセスを実行することができる。このプロセスは、画像中に存在する試験体の異なる要素を検出することを可能にする。その結果として、それぞれの要素の輪郭を決定することが可能である。

10

【0056】

いくつかの実施形態では、画像処理アルゴリズムを使用してそれぞれの要素の輪郭（ D_{contour} ）を決定することができる。「OpenCV」などのライブラリを使用して、画像中の要素の輪郭を決定することができる。しかしながら、これに限定されるわけではない。

【0057】

図2Aの方法はさらに、データ D_{contour} を使用して、要素の輪郭の曲率に関する情報を与える信号を生成すること（操作215）を含む。

【0058】

いくつかの実施形態によれば、この曲率が、曲線が直線から逸脱する量と定義される。曲線上の1点における曲率半径は、その点においてその曲線に最もよく適合する円の半径である。曲率は曲率半径の逆数である。

20

【0059】

後に説明するが、要素の輪郭の曲率に関する情報を与える信号は、その曲率自体に対応することができ、または輪郭に沿った曲率の変動に関する情報を与える信号に対応することができる。

【0060】

（要素の輪郭などの）2次元形状の曲率は、知られている数式に依存して決定することができる。例えば、所与のそれぞれの点における曲率は、プラットの方法（V. Pratt, "Direct least-squares fitting of algebraic surfaces", Computer Graphics, Vol. 21, pages 145-152 (1987)）を使用し、所与のそれぞれの点の近傍を使用することによって決定することができる。この方法に限定されるわけではなく、他の方法を使用することもできる。

30

【0061】

図3Aは、要素の輪郭の曲率に関する情報を与える信号を D_{contour} を使用して決定する別の方法を示している。

【0062】

図3Aの方法は、要素の輪郭に沿った複数の位置のうちの所与のそれぞれの位置について、その所与の位置における輪郭の法線（すなわち、その所与の位置において輪郭に対して直角な方向／ベクトル）を決定すること（操作300）を含む。非限定的な例が図3Bに示されている。要素365の輪郭上に位置する所与の位置370について、法線371を取得する。図3Bに示されているように、要素365の輪郭に沿った他のさまざまな位置についても同じプロセスを実行する。

40

【0063】

この方法はさらに、要素の輪郭に沿った複数の位置のうちの所与のそれぞれの位置について、その所与の位置から要素の重心（質量中心とも呼ばれる）へ向かう方向を決定すること（操作310）を含む。図3Bの非限定的な例では、要素365の輪郭上に位置する所与の位置370について、要素365の重心374の方を向いた方向／ベクトル373を取得する。図3Bに示されているように、要素365の輪郭に沿った他のさまざまな位置

50

についても同じプロセスを実行する。

【0064】

この方法はさらに、輪郭に沿った所与のそれぞれの位置について、法線と重心へ向かう方向との間の角度差（角度オフセット）に関する情報を与えるデータを生成すること（オプション315）を含む。例えば、所与の位置370において、法線371と方向373との間の角度差に対応する角度376を計算する。要素365の輪郭に沿った他のさまざまな位置についても同じプロセスを実行する。

【0065】

その結果として、所与のそれぞれの位置について、法線と重心へ向かう方向との間の角度差が取得される。これは、1次元信号（輪郭に沿った位置に関する角度差）を生成することを可能にする。いくつかの実施形態では、より連続した／より滑らかな信号を取得するために、（位相 π を加えるまたは減じることによって）この1次元信号を再スケーリングすることができる。実際、角度差の値が0から π （または0から $-\pi$ ）に移動するときには、信号に値 $-\pi$ （または $+\pi$ ）を加えることが可能である。実際、輪郭の曲率の周期性を決定するのに、輪郭の法線が、重心へ向かう方向と同じ方向を有するのか（角度オフセット0）、または重心へ向かう方向とは反対の方向を有するのか（角度オフセット $+\pi$ もしくは $-\pi$ ）を判定することは重要ではない。

【0066】

図3Aの方法を使用して計算された信号は要素の輪郭の曲率に関する情報を与える。より具体的には、この信号は、要素の輪郭の曲率の変動に関する情報を与える。実際、完全な円については法線と重心へ向かう方向とが同じであるため、差はゼロである。その結果、この信号はゼロであり、このことは、円の輪郭に沿って円の曲率が変化しないことに対応する（曲率自体は円の輪郭に沿って一定である）。この信号は曲率の変動を表しているため、この信号を使用して輪郭の頂点を検出することができ、輪郭の頂点では、曲率の大きな変動を取得することが予想される。これについては後により詳細に説明する。

【0067】

そのため、図3Aの方法によって取得された信号を、操作215において、要素の輪郭の曲率に関する情報を与える信号として使用することができる（操作320を参照されたい）。

【0068】

図3Aの例において、エリア380および381に位置する輪郭に沿った位置についてはこの角度差が正の大きな値であると予想され、エリア380および381に位置する輪郭に沿った位置についてはこの角度差が負の大きな値であると予想され、位置384、385、386および387については角度差がゼロであると予想される。

【0069】

いくつかの実施形態では、操作215で使用される信号が、輪郭に沿った法線の方向の進展である（この画像に関してはこれが法線の角度方向の進展に対応する）。図3Aの方法では、法線と重心へ向かう方向との間の角度差が計算され、このケースでは、法線の角度方向が計算されることに留意されたい。

【0070】

図4は、輪郭263（図2C参照）に関連する要素260の曲率に関する情報を与える信号415を示している。図4のグラフは、横軸400に輪郭に沿った位置に対する縦軸410に曲率を示している。信号415は、曲率自体を計算する方法を使用して取得したものであり、図3Aの方法を使用して取得したものではない。信号415は3つの主要なピークを含んでいる。このことにより、図3Aの方法を使用した場合にも、信号は3つの主要なピークを有するであろうことに留意されたい。これは、図3Aの方法が、曲率の変動に関する情報を与える信号を提供するためである。

【0071】

図2Aの方法はさらに、要素の輪郭の曲率に関する情報を与える信号（操作215で取得されたもの）の周期性に関する情報を与えるデータD_{periodicity}を決定すること（操

10

20

30

40

50

作 2 2 0) を含む。信号の周期性は、間隔を置いて繰り返す信号の傾向である。この周期性は、操作 2 1 5 で取得した信号で評価することができ、輪郭の全体にわたって計算することができる。

【 0 0 7 2 】

後に説明するが、いくつかの実施形態では、データ $D_{periodicity}$ が、1 から N の範囲の整数のうちのそれぞれの整数 N_i について、 N_i に等しい周期性をこの信号が有する確率を含む。周期性 N_i は、(輪郭の全体にわたって計算された) 信号がそれ自体を N_i 回繰り返す傾向を有することに対応しうる。

【 0 0 7 3 】

いくつかのケースでは、この周期性が、要素の輪郭の曲率に関する情報を与える信号 (操作 2 1 5 で取得されたもの) のピークの数に対応する。それらのピークは例えばこの信号の振幅の極大値に対応する。いくつかの実施形態では、この信号のさまざまなピークが同様の振幅を有し、またはこの信号の他の部分に関する振幅の差に比べて振幅の差が小さいかもしくは無視できる。

【 0 0 7 4 】

図 4 の例では、信号 4 1 5 に 3 つの主要なピーク 4 2 0、4 2 1 および 4 2 2 が存在する。したがって、 $D_{periodicity}$ は、信号 4 1 5 が周期性 3 を有する確率が高いことを示すであろう。しかしながら、信号 4 1 5 は、3 つのピークだけを有する完全なシノソイドではないため、 $D_{periodicity}$ は、その信号に異なる値の周期性が存在する確率も含むであろう (しかしながら、その確率は、3 に等しい周期性に関連した確率よりも低いであろう)。

【 0 0 7 5 】

データ $D_{periodicity}$ を決定するためにさまざまな方法を使用することができる。図 5 は、フーリエ変換を使用してデータ $D_{periodicity}$ を決定する方法を示している。しかしながら、この方法に限定されるわけではなく、他のさまざまな方法を使用することができる。例えば、Matlab の関数「findpeaks」を使用することができる。

【 0 0 7 6 】

図 5 の方法は、要素の輪郭の曲率に関する情報を与える信号を周波数ドメインの信号に変換すること (操作 5 0 0) を含む。いくつかの実施形態によれば、この信号を周波数ドメインに変換するために、この信号にフーリエ変換 (例えば高速フーリエ変換 (Fast Fourier Transform)) を適用することができる。

【 0 0 7 7 】

この方法はさらに、この周波数ドメインの信号を、信号の周期性に関する情報を与えるデータ $D_{periodicity}$ として使用すること (操作 5 1 0) (またはこの周波数ドメインの信号を使用して $D_{periodicity}$ を決定すること) を含む。実際、後のさまざまな例で示すが、この信号を周波数ドメインで表現することによって、要素の輪郭の曲率に関する情報を与える信号の周期性に関する情報を与える周波数成分 (高調波) を決定することが可能になる。

【 0 0 7 8 】

試験体の要素 6 0 0 (例えばコンタクト) が、図 6 A に示された画像中で、1 つの形状を有すると仮定する。要素 6 0 0 は、要素 6 0 0 を製造するために使用される製造プロセスに関する理想的な／期待される形状 6 0 1 (円の形状) とは異なる形状を有する。実際、要素 6 0 0 は、要求されている円の形状よりも三角形の形状に近い形状を有する。

【 0 0 7 9 】

図 2 A の操作 2 1 5 に関して既に説明したとおり、要素の輪郭の曲率に関する情報を与える信号 6 2 0 (図 6 B 参照) が生成される。この非限定的な例では、図 3 A の方法を使用して信号 6 2 0 を決定した。

【 0 0 8 0 】

この非限定的な例では、FFT 変換を使用して信号 6 2 0 を周波数ドメインに変換する。周波数表現 6 3 0 が取得される (図 6 C 参照)。周波数表現 6 3 0 は、信号 6 2 0 の高

10

20

30

40

50

調波の振幅 6 3 1 を周波数 6 3 2 の関数として出力する。具体的には、この F F T 表現は、第 1 高調波 (f_1) およびそれぞれの高調波周波数 (f_n) の振幅を示している ($f_n = n \cdot f_1$ 、なお n は高調波次数である)。図 6 C の特定の例では、F F T 表現 6 3 0 が、第 3 高調波 ($n = 3$) に対して大きなピークを示している。他の高調波も存在するが、それらははるかに小さな振幅を有する。したがって、F F T 表現 6 3 0 は信号 6 2 0 の周期性に関する情報を与える。第 3 高調波 ($n = 3$) の大きな振幅が検出されたため、このことは、3 に等しい周期性を信号 6 2 0 が有する確率が高いことを意味する。信号 6 2 0 は完全な正弦波信号ではないため、(n が 3 とは異なる) 他の高調波も存在するが、それらははるかに小さな振幅を有する。

【0081】

10

図 2 A の方法に戻ると、この方法はさらに、データ $D_{\text{periodicity}}$ を使用して、要素の正しい製造に関する情報を与えるデータを決定すること (操作 2 3 0) を含む。

【0082】

所与の要素 (例えばコンタクト、トランジスタなど) が製造されるときには製造プロセスが使用される。この所与の要素は、期待される形状に従って製造される。例えば、コンタクトについては、期待される形状が円形の形状であることがありうる。実際には、所与の要素は、期待される形状とは異なる実際の形状を有しうる。これによって、電気性能の低下など性能の低下が生じうる。

【0083】

20

いくつかの実施形態によれば、操作 2 3 0 は、データ $D_{\text{periodicity}}$ を使用して、輪郭と 1 つの形状との類似性に関する情報を与える少なくとも 1 つのスコアを決定することを含む (後に説明するが、この 1 つの形状は所定の形状とすることができる)。具体的には、いくつかの実施形態によれば、この 1 つの形状が、要素の期待される形状とは異なる。言い換えると、要素が、どの程度、その期待される形状とは異なる形状に類似した形状を有するのかを測定および定量化することができる。したがって、このスコアを使用して、要素の製造プロセスの異常または問題を検出することができる。具体的には、このスコアを使用して、要素の製造プロセスの不安定性／系統的欠陥を検出することができる。

【0084】

30

実際、このスコアが、要素と期待される形状とは異なる所定の形状との間の高い類似性を示す場合、このことは、製造プロセスに異常がある確率が高いことを示す。その結果、少なくとも 1 つの是正処置をとることができる。

【0085】

本出願に記載されたさまざまな方法において、要素の正しい製造に関する情報を与えるデータを使用して、異なるさまざまな是正処置を実行することができる。これは、要素および／または試験体を再び製造すること、製造プロセスの 1 つまたは複数のパラメータ (例えば製造頻度、温度、製造ツールの 1 つまたは複数のパラメータ) を修正すること、試験体を廃棄すること、試験体が受ける必要があるプロセスを選択すること、試験体をさらに検査すること、データベースに情報を書き込むことなどのうちの少なくとも 1 つを含むことができる。

【0086】

40

具体的には、要素の正しい製造に関する情報を与えるデータを使用して製造プロセスを安定させることができる。

【0087】

後に説明するが、操作 2 3 0 で、要素の輪郭と多角形との類似性に関する情報を与えるスコアを決定することを試みることができる。多角形の例は例えば、三角形、正方形、長方形、五角形および六角形を含む。操作 2 3 0 で使用することができる 1 つの原理は、多角形がある数の頂点を有することである (例えば、三角形は 3 つの頂点を有し、正方形または長方形は 4 つの頂点を有するなど)。多角形の輪郭の曲率は多角形の頂点で急激に変化する。したがって、多角形が N 個の頂点を有する場合、多角形の曲率に関する情報を与える信号は、(この信号が曲率自体に対応するときと信号が曲率の変動に対応するときの

50

両方で) N に等しい周期性を含むことが予想される。上述のとおり、いくつかの例ではこれが N 個のピークに対応しうる。図 2 A の方法は、要素の輪郭の曲率に関する情報を与える信号の周期性に関する情報を与えるデータ $D_{\text{periodicity}}$ を決定することを可能にするため、 $D_{\text{periodicity}}$ から、輪郭と N 個の頂点を有する多角形との類似性に関する情報を与える見通しを推論することができる。より一般的には、いくつかの実施形態によれば、 $D_{\text{periodicity}}$ を使用して、範囲 $[N_{\min}; N_{\max}]$ のそれぞれの整数 N_i について、要素の輪郭と N_i 個の頂点を有する所定の形状との間の類似性を示す対応するスコア S_i を決定することができる。したがって、第 1 のスコアは、輪郭と三角形との間の類似性を示しうる。第 2 のスコアは、輪郭と正方形または長方形との間の類似性を示しうる。第 3 のスコアは、輪郭と五角形との間の類似性を示しうる。いくつかの実施形態では、スコア S_i のうちの 1 つまたは複数に基づいて集約スコアを生成することができる。

10

【0088】

図 6 D を参照して操作 230 の一例を説明する。要素 600 の輪郭と三角形との類似性に関する情報を与える少なくとも 1 つのスコアを決定することを試みると仮定する。

【0089】

信号 620 の FFT 表現 630 は、高調波 f_3 ($f_3 = 3 \cdot f_1$ 、 f_1 は第 1 高調波である) に対する大きな振幅を含むため、要素 600 と三角形との間の高い類似性を示す対応するスコアが計算される。いくつかの実施形態では、このスコアを、0 ~ 100 の間のスケールにスケールリングすることができる。FFT 表現において取得された振幅から 0 ~ 100 の間のスコアへのこの変換は、変換係数を使用して実行することができる。この変換係数は例えば経験的に決定することができる。反対に、信号 620 の FFT 表現 630 は、高調波 f_4 ($f_4 = 4 \cdot f_1$ 、 f_1 は第 1 高調波である) に対する低い振幅を含み、したがって正方形との類似性を示すスコアは低い。

20

【0090】

図 6 D の例では、要素 600 の輪郭と三角形との類似性を示すスコア 640 (以後、「三角形スコア」と呼ぶ) が 92 であり、要素 600 の輪郭と正方形との類似性を示すスコア 641 (以後、「正方形スコア」と呼ぶ) が 8 である。いくつかの実施形態では、集約スコアを計算し、ユーザに提供することができる。例えば、下記の非限定的な式を使用することができる。

集約スコア = Max (三角形スコア、 $0.5 \times$ 正方形スコア)

30

【0091】

FFT 表現において取得された第 5 高調波 ($f_5 = 5 \cdot f_1$) の振幅から、要素の輪郭と五角形との類似性を推論することができることに留意されたい。上で説明したとおり、この振幅を、変換係数を使用して、予め定められたスケール内に位置するスコアに変換することができる。同様に、FFT 表現において取得された第 6 高調波 ($f_6 = 6 \cdot f_1$) の振幅から、要素の輪郭と六角形との類似性を推論することができる。それぞれの多角形に対して取得されたスコアのうちの 1 つまたは複数を使用して集約スコアを計算することができる。

【0092】

いくつかの実施形態によれば、製造プロセスのオペレータは、製造プロセスの異常が、期待される形状 (例えば円) とは異なる予め定められた多角形 (例えば三角形) に近い輪郭を有する要素を生成する傾向があることに気づいた。したがって、このオペレータは、要素と三角形との類似性を示すスコアを取得することを目指すだろう。しかしながら、これに限定されるわけではない。

40

【0093】

図 6 E に注目する。試験体の要素 (例えばコンタクト) が、図 6 E に示された画像中で、形状 675 を有すると仮定する。要素は、要素を製造するために使用される製造プロセスに関する理想的な / 期待される形状 671 (円の形状) とは異なる形状を有する。実際、要素は、要求されている円の形状 671 ではなくむしろ、方形の形状 675 に近い形状を有する。

50

【0094】

図2Aの操作215に関して既に説明したとおり、要素の輪郭の曲率に関する情報を与える信号680（図6F参照）が生成される。この非限定的な例では、図3Aの方法を使用して信号680を決定した。

【0095】

この非限定的な例では、FFT変換を使用して信号680を周波数ドメインに変換する。周波数表現685が取得される（図6G参照）。FFT表現685は、第4高調波（ $n=4$ ）に対して大きなピークを示している。他の高調波も存在するが、それらははるかに小さな振幅を有する。第4高調波（ $n=4$ ）の大きな振幅が検出されたため、このことは、信号680が周期性4を有する確率が高いことを意味する。（ n が4とは異なる）他の高調波も存在するが、それらははるかに小さな振幅を有する。

10

【0096】

図6Hの例では、要素671の輪郭と正方形との類似性を示すスコア686（「正方形スコア」）が約100であり、要素671の輪郭と三角形との類似性を示すスコア687（以後、「三角形スコア」と呼ぶ）が低い。上で説明したとおり、いくつかの実施形態では、集約スコアを計算し、ユーザに提供することができる。

【0097】

次に図7に注目する。

【0098】

図7の方法は、半導体試験体の画像を取得すること（操作200と同様の操作700）、および試験体の要素の輪郭に関する情報を与えるデータD_{contour}を取得すること（操作210と同様の操作710）を含む。この方法はさらに、D_{contour}を使用して、要素の輪郭の曲率に関する情報を与える信号を生成すること（操作720）を含む。いくつかの実施形態によれば、この信号は、要素の輪郭の曲率の変動に関する情報を与えることができる。具体的には、図3Aに記載された方法を使用することができる。

20

【0099】

図8Aを参照すると、要素（例えばコンタクト）の期待される輪郭800および製造された要素の輪郭810の実際の形状を示す例が提供されている。示されているように、輪郭の実際の形状は、「曲がりくねっている（curly）」という点で、期待される輪郭とは異なっている。後に説明するが、図7の方法は、要素の正しい製造を特徴づけることを可能にし、具体的には、要素の輪郭の曲がりくねり（これは例えば条線（striation）を含む）に関する情報を与えるデータを提供する。

30

【0100】

図8Bは、図3Aの方法を使用して取得した、要素の曲がりくねった輪郭810の曲率の変動に関する情報を与える信号820を示している。この信号は再スケーリングされておらず、この信号には、後に説明するように不連続部が存在する。

【0101】

図8Cは、要素の輪郭の曲率に関する情報を与える信号820の最大振幅と最小振幅の間のこの交替と曲がりくねった輪郭810との間の関連を説明する図である。図8Cには、輪郭810の部分830が（この画像のように「X」方向に対応する横軸および「Y」方向に対応する縦軸を有する2次元表現で）示されている。この部分は、凸である第1の部分840および凹である第2の部分850を含む。第1の部分840と第2の部分850の間には変曲点860が存在する。輪郭810の曲がりくねりのため、輪郭810の全体にわたって凹部と凸部の間のこの交替が繰り返されている。

40

【0102】

図8Cの曲線870は、（2次元表現X/Yでの）輪郭810の一部分に沿った輪郭の法線の包絡線の進展に対応する。この曲線870は「縮閉線（evolute）」とも呼ばれる。図8Cに見られるとおり、輪郭810がその凸部840からその凹部850に切り替わるときに（すなわち平らな部分に対応する変曲点860に）、曲線870の負の最小値（例えば法線は -180° ／ $-\pi$ の方向を有し、曲率半径の大きな値に対応する大

50

な長さを有する)と曲線 870 の正の最大値 (例えば法線は $+180$ 度 / $+\pi$ の方向を有し、曲率半径の大きな値に対応する大きな長さを有する) との間の跳躍部 (不連続部) が存在する。実際、上で既に述べたとおり、所与の点における曲率は、輪郭のこの所与の点における適合する円の半径の曲率である。曲率がゼロに近いとき、適合する円の半径は無限大に近づく。このことは、曲線がほぼ直線であることを意味する。変曲点 860 で輪郭の法線の方法は反転し、したがって、曲線 870 は、負の最小値から正の最大値に切り替わる。

【0103】

凸部と凹部の間のこの遷移は、要素の曲がりくねった輪郭 810 の曲率の変動に関する情報を与える信号 820 の中で検出することができる。実際、輪郭の凸部と輪郭の凹部が切り替わるときには信号 820 に不連続部が存在する。例えば、図 8B において、点の第 1 のクラスタ 822₁ と点の第 2 のクラスタ 822₂ の間には不連続部 (矢印 822 によって表されている) が存在する。同様に、点の第 3 のクラスタ 821₁ と点の第 4 のクラスタ 821₂ の間にも不連続部 (矢印 821 によって表されている) が存在する。信号 820 は離散信号であること、および (例えば点のクラスタ 822₁ と点のクラスタ 822₂ の間の) 縦線は信号 820 の本当の点に対応しないことに留意されたい (信号 820 の本当の点に対応するのは星印だけである)。

【0104】

この信号の不連続部は、この不連続部がしきい値よりも大きな振幅を有するときに、輪郭の凸部と輪郭の凹部の間の遷移 (凸から凹または凹から凸への遷移) に対応すると識別することができる。図 8B に見られるとおり、このしきい値は π に近いと規定することができる。このことは、法線の方法が 0 から $+\pi$ または $-\pi$ に (またはその逆に) 切り替わる図 8C から理解することができる。法線の角度方法には不連続部が存在するため、信号 820 にも (法線と重心に向かう方法との間の角度オフセットに対応する) 同様の不連続部が存在する。図 8B の実信号 820 の不連続部は、雑音が存在するためおよび信号 820 が離散信号であるために π よりも小さいことがある。

【0105】

信号 820 は、交互に、(しきい値よりも大きな不連続部のない) 点のクラスタ、(しきい値よりも大きな) 不連続部、次いで (しきい値よりも大きな不連続部のない) 点の別のクラスタを含む。

【0106】

この不連続部はさまざまな方法を使用して決定することができる。いくつかの実施形態では、信号の連続する点間の差 (または点のクラスタ間の差) を計算する。この差がしきい値よりも大きいときに不連続部が検出される。

【0107】

いくつかの実施形態では、信号 820 の離散微分係数を決定する。この微分係数がしきい値よりも大きいときに不連続部が検出される。このしきい値はオペレータが手動で設定することができる。

【0108】

上で概説した原理を使用して、図 7 の方法はさらに、信号の不連続部の数に関する情報を与えるデータ $D_{\text{discontinuities}}$ を決定すること (操作 730) を含み、それぞれの不連続部は、輪郭の凸部と輪郭の凹部の間の遷移 (凸から凹または凹から凸への遷移) に関する情報を与える。

【0109】

いくつかの実施形態では、曲がりくねった部分ごとに、第 1 の凸部から第 1 の凹部への第 1 の遷移が存在し、次いで第 1 の凹部から第 2 の凸部への第 2 の遷移が存在するため、不連続部の数を 2 で割って、曲がりくねった部分の数を決定することが可能である。

【0110】

他の実施形態では、点の第 1 のクラスタと点の第 2 のクラスタの間で信号 820 の振幅が増大する不連続部だけを計数することが可能である。

【0111】

他の実施形態では、点の第1のクラスタと点の第2のクラスタの間で信号820の振幅が低減する不連続部だけを計数することが可能である。

【0112】

上記の例から理解することができるとおり、データ $D_{discontinuities}$ は、要素の正しい製造に関する情報を与え（操作740参照）、具体的には、要素の輪郭の曲がりくねりおよび／またはプロセス変動の指示を提供する。不連続部の数がしきい値よりも大きい場合、このことは、是正処置を必要とする曲がりくねった輪郭を示しうる（これに限定されるわけではない）。例えば、9～12個の不連続部が識別された場合、このことは、是正処置を必要とする曲がりくねった輪郭を示しうる（これに限定されるわけではない）。その結果として、要素の製造プロセスの異常を検出することが可能であり、したがって、是正処置、例えば製造プロセスを安定させるための是正処置を実行することが可能である（上述の是正処置のさまざまな例を参照されたい）。

10

【0113】

いくつかの実施形態によれば、図7の方法で使用される要素の輪郭の曲率に関する情報を与える信号は、輪郭の法線の角度方向の進展に対応する。この角度方向は、この画像（ X/Y ）に関して表現することができる。この信号の中で（ π に近いなどのしきい値よりも大きな振幅を有する）不連続部を検出して、輪郭の凸部と凹部の間の遷移（またはその逆の遷移）を検出することができる。図7に関して説明した特徴を、輪郭の法線の角度方向を使用するときと同様に使用することができる。

20

【0114】

本発明は、その用途において、本明細書に含まれる説明の中で示された詳細または図面に示された詳細に限定されないことを理解すべきである。

【0115】

本発明によるシステムは、少なくとも部分的に、適切にプログラムされたコンピュータ上で実施することができることも理解される。同様に、本発明は、本発明の方法を実行するためにコンピュータが読み取ることができるコンピュータプログラムを企図する。本発明はさらに、本発明の方法を実行するためにコンピュータが実行することができる命令のプログラムを実体的に実装した非一過性コンピュータ可読メモリを企図する。

【0116】

本発明は、他の実施形態を有することができ、さまざまなやり方で実施および実行することができる。したがって、本明細書で使用されている言い回しおよび用語は説明が目的であり、それらを、限定を目的としたものとみなすべきでないことを理解すべきである。そのため、本開示の基礎となる着想を、本明細書に開示された主題のいくつかの目的を達成するための他の構造体、方法およびシステムを設計するためのベースとして容易に利用することができることを当業者は理解するであろう。

30

【0117】

添付の請求項によって添付の請求項の中に定義された本発明の範囲から逸脱することなく、上で説明した本発明の実施形態にさまざまな修正および変更を加えることができることを当業者は容易に理解するであろう。

40

【符号の説明】

【0118】

- 100 検査システム
- 101 低分解能検査ツール
- 102 高分解能検査ツール
- 103 コンピュータベースのシステム
- 104 プロセッサおよびメモリ回路（PMC）
- 107 ストレージシステム
- 108 GUI
- 259 画像

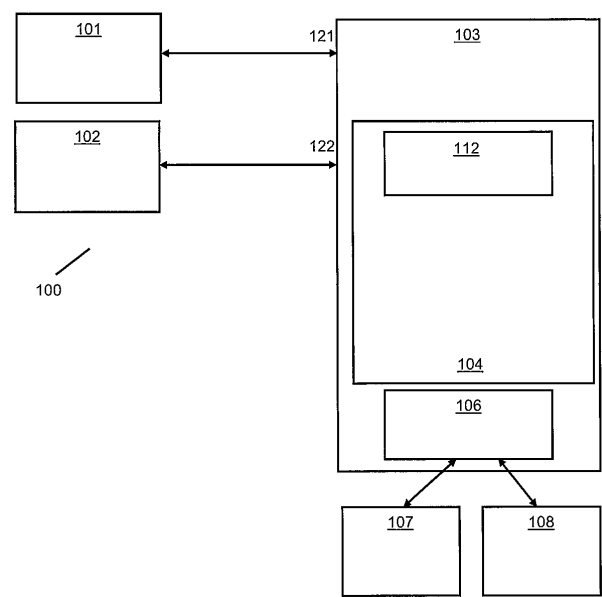
50

2 6 0	コンタクト	
2 6 1	輪郭	
2 6 2	内部エリア	
2 6 3	輪郭	
3 6 5	要素	
3 7 0	位置	
3 7 1	法線	
3 7 3	方向／ベクトル	
3 7 4	重心	
3 7 6	角度	10
3 8 0	エリア	
3 8 1	エリア	
3 8 2	エリア	
3 8 3	エリア	
3 8 4	位置	
3 8 5	位置	
3 8 6	位置	
3 8 7	位置	
4 0 0	横軸	
4 1 0	縦軸	20
4 1 5	信号	
4 2 0	ピーク	
4 2 1	ピーク	
4 2 2	ピーク	
6 0 0	要素	
6 0 1	理想的な／期待される形状	
6 2 0	信号	
6 3 0	周波数表現	
6 3 1	振幅	
6 3 2	周波数	30
6 4 0	三角形スコア	
6 4 1	正方形スコア	
6 7 1	理想的な／期待される形状	
6 7 5	要素の形状	
6 8 0	信号	
6 8 5	周波数表現	
6 8 6	三角形スコア	
6 8 7	正方形スコア	
8 0 0	要素の期待される輪郭	
8 1 0	製造された要素の輪郭	40
8 2 0	信号	
8 2 1	矢印	
8 2 1 ₁	点の第 1 のクラス	
8 2 1 ₂	点の第 2 のクラス	
8 2 2	矢印	
8 2 2 ₁	点の第 3 のクラス	
8 2 2 ₂	点の第 4 のクラス	
8 4 0	輪郭の凸部	
8 5 0	輪郭の凹部	
8 6 0	変曲点	50

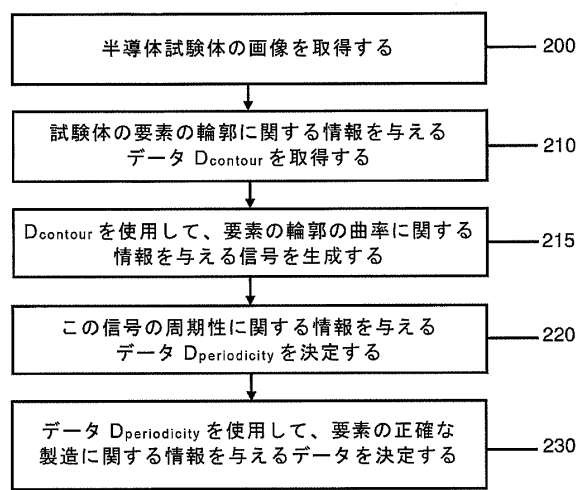
8 7 0 曲線

【図面】

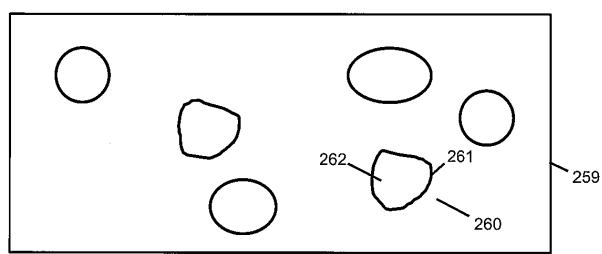
【図 1】



【図 2 A】



【図 2 B】



【図 2 C】



10

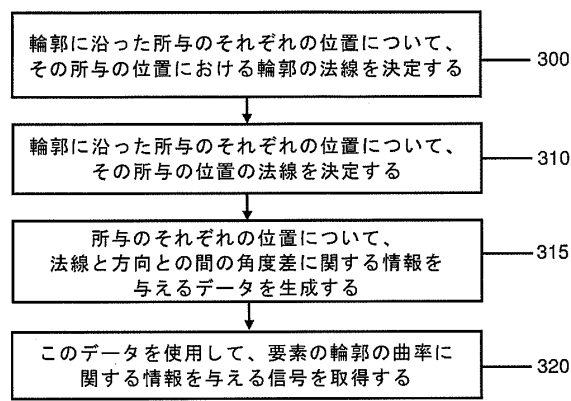
20

30

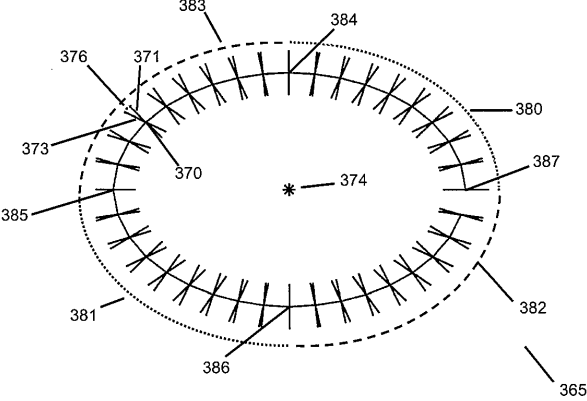
40

50

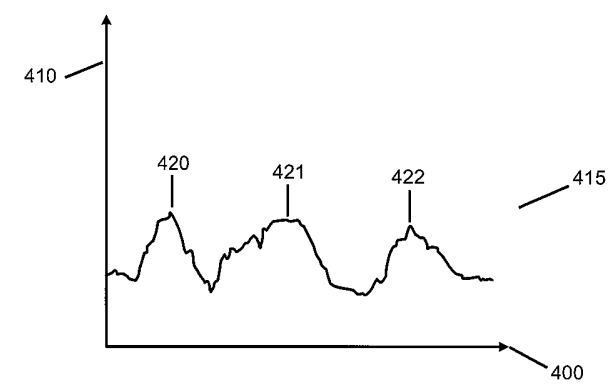
【図 3 A】



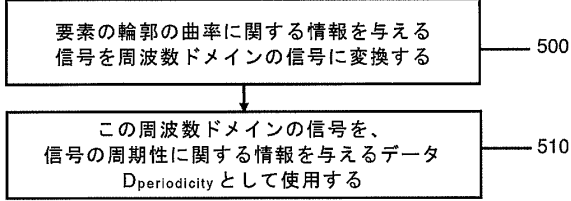
【図 3 B】



【図 4】



【図 5】



10

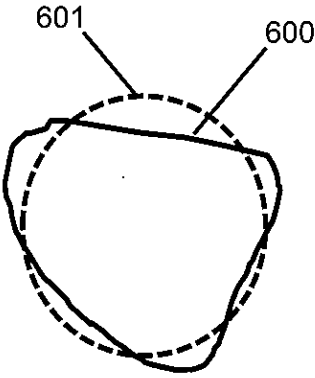
20

30

40

50

【図 6 A】



【図 6 B】

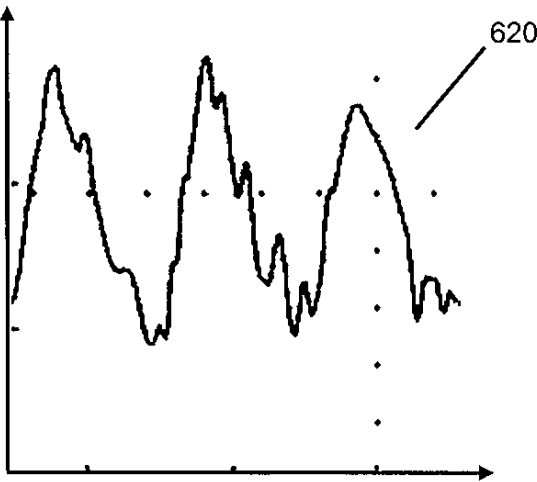
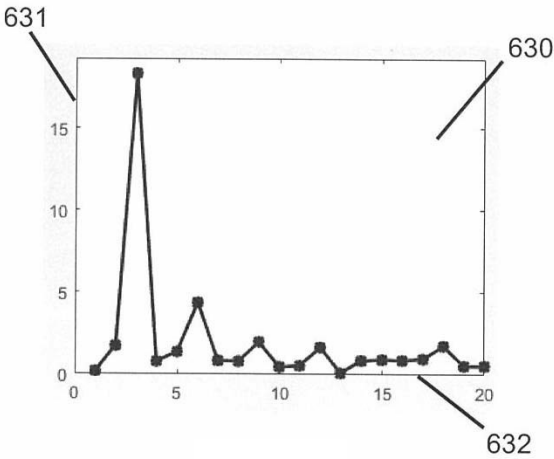
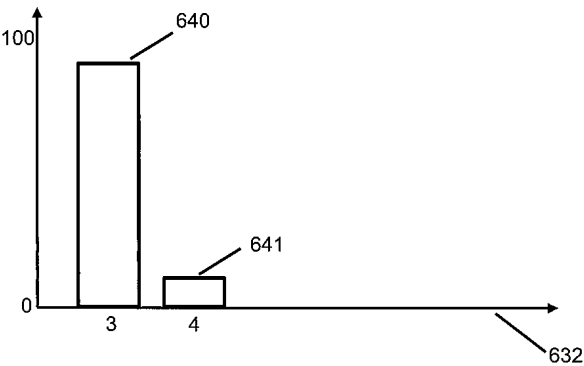


FIG. 6B

【図 6 C】



【図 6 D】



10

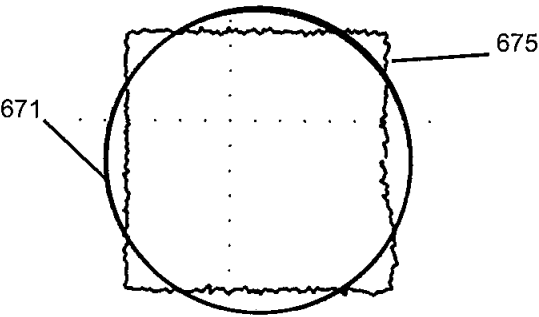
20

30

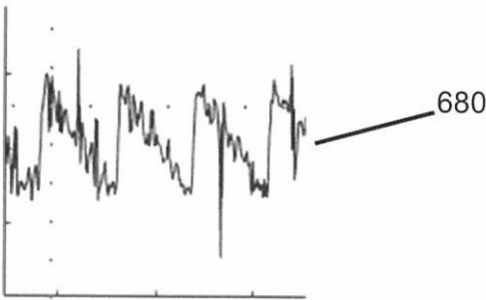
40

50

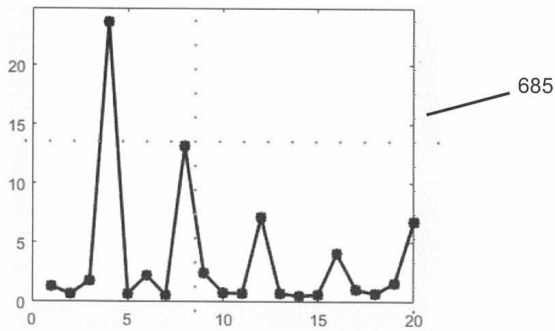
【図 6 E】



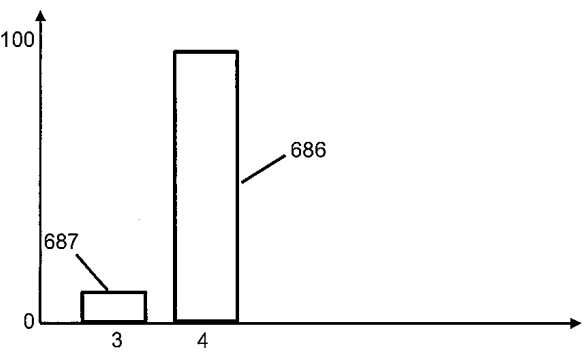
【図 6 F】



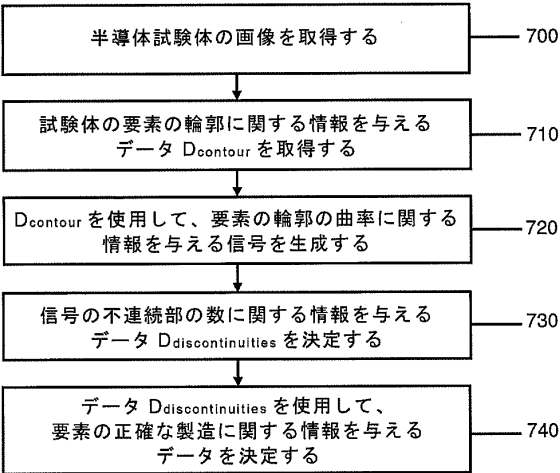
【図 6 G】



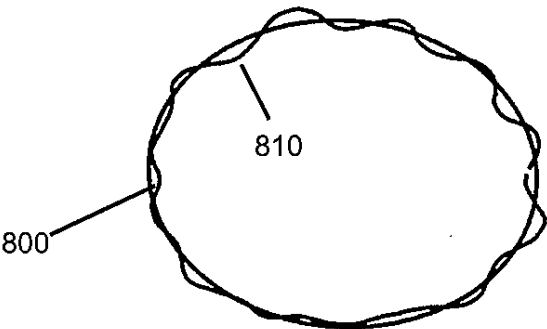
【図 6 H】



【図 7】



【図 8 A】



10

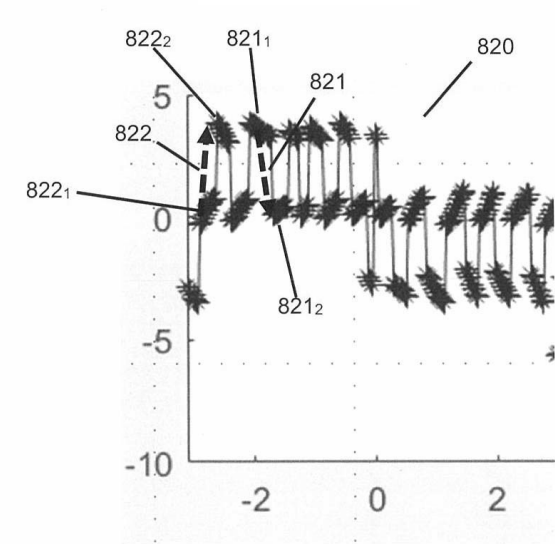
20

30

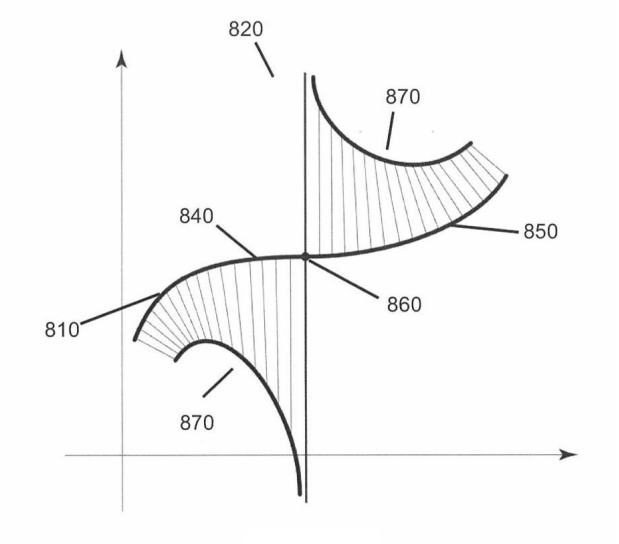
40

50

【図 8 B】



【図 8 C】



【外国語明細書】

2023106295000022.pdf

10

20

30

40

50

フロントページの続き

弁理士 西島 孝喜
(74)代理人 100109335
弁理士 上杉 浩
(74)代理人 100120525
弁理士 近藤 直樹
(74)代理人 100139712
弁理士 那須 威夫
(74)代理人 100176418
弁理士 工藤 嘉晃
(72)発明者 エイナット フリシュマン
イスラエル 7 6 7 0 1 0 9 レホヴォト パーク ラビン オッペンハイマー ストリート 9 アブ
ライド マテリアルズ イスラエル リミテッド内
(72)発明者 イラン ベン-ハルシュ
イスラエル 7 6 7 0 1 0 9 レホヴォト パーク ラビン オッペンハイマー ストリート 9 アブ
ライド マテリアルズ イスラエル リミテッド内
(72)発明者 ラファエル ビストリッツァー
イスラエル 7 6 7 0 1 0 9 レホヴォト パーク ラビン オッペンハイマー ストリート 9 アブ
ライド マテリアルズ イスラエル リミテッド内
F ターム (参考) 4M106 AA01 BA02 CA39 DJ17 DJ20
5L096 BA03 CA01 FA06 FA68