

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2006-511801  
(P2006-511801A)

(43) 公表日 平成18年4月6日(2006.4.6)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 B 21/08 (2006.01)	GO 1 B 21/08	2 F O 6 3
HO 1 L 21/304 (2006.01)	HO 1 L 21/304 6 2 2 S	2 F O 6 9
HO 1 L 21/66 (2006.01)	HO 1 L 21/66 P	4 M 1 O 6
GO 1 B 7/06 (2006.01)	GO 1 B 7/10 Z	

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 20 頁)

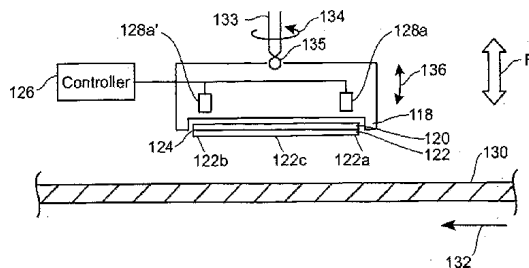
(21) 出願番号	特願2004-563776 (P2004-563776)	(71) 出願人	592010081 ラム リサーチ コーポレーション LAM RESEARCH CORPOR ATION アメリカ合衆国, カリフォルニア 950 38, フレモント, クッシング パークウ エイ 4650
(86) (22) 出願日	平成15年12月17日 (2003.12.17)	(74) 代理人	110000028 特許業務法人明成国際特許事務所
(85) 翻訳文提出日	平成17年8月19日 (2005.8.19)	(72) 発明者	ゴットキス・イヒエル アメリカ合衆国 カリフォルニア州945 36 フリモント, ビーチツリー・コート , 37789
(86) 国際出願番号	PCT/US2003/040391		
(87) 国際公開番号	W02004/059242		
(87) 国際公開日	平成16年7月15日 (2004.7.15)		
(31) 優先権主張番号	10/328,884		
(32) 優先日	平成14年12月23日 (2002.12.23)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 相補的なセンサを用いた測定処理制御のための方法および装置

(57) 【要約】

【解決手段】 ウエハの層の厚さを検出するための方法が提供されている。その方法は、処理されるウエハを保持するよう構成されたウエハキャリアの特定の半径の規定を備える。その方法は、さらに、1組の相補的なセンサを形成するよう構成された複数のセンサの準備を備える。さらに、その方法は、複数のセンサの内の各センサと、隣接するセンサとの位相が、同じ角度だけずれるように、ウエハキャリア内の特定の半径に沿う複数のセンサの配置を備える。その方法は、さらに、複数のセンサによって生成された信号の測定を備える。さらに、合成信号を生成するために、複数のセンサによって生成された信号の平均化が備えられている。平均化は、合成信号が、層の厚さを特定するよう相関を有することができるように、合成信号からノイズを除去するよう構成されている。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

ウエハの層の厚さを検出するための方法であって、  
処理される前記ウエハを保持するよう構成されたウエハキャリアの特定の半径を規定し

、  
1組の相補的なセンサを形成するよう構成された複数のセンサを準備し、  
各センサと、隣接するセンサとの位相が、同じ角度だけずれるように、前記ウエハキャリア内の前記特定の半径に沿って前記複数のセンサを配置し、  
前記複数のセンサによって生成された信号を測定し、  
合成信号を生成するために、前記複数のセンサによって生成された前記信号を平均化することを備え、前記平均化は、前記合成信号における振動の阻害 (oscillating disturbance) を抑圧するよう構成されており、前記合成信号は、前記層の前記厚さを特定するように相関することができる、方法。 10

## 【請求項 2】

請求項 1 に記載の方法であって、前記ウエハ層の前記厚さは、その場で決定されることが可能である、方法。

## 【請求項 3】

請求項 2 に記載の方法であって、その場とは、前記層が処理されている時に、前記層の前記厚さを決定することとして定義される、方法。

## 【請求項 4】

請求項 1 に記載の方法であって、前記合成信号は、前記層の終点を決定するために用いられる、方法。 20

## 【請求項 5】

請求項 1 に記載の方法であって、前記複数のセンサは渦電流センサである、方法。

## 【請求項 6】

請求項 1 に記載の方法であって、前記複数のセンサによって生成された前記信号は、位相がずれている、方法。

## 【請求項 7】

請求項 6 に記載の方法であって、前記複数のセンサによって生成された前記信号の平均化は、信号抑圧をほぼ排除する、方法。 30

## 【請求項 8】

ウエハのウエハ層の厚さを検出するための方法であって、  
処理される前記ウエハを保持するよう構成されたウエハキャリアの特定の半径を規定し

、  
一对のセンサを準備し、  
前記一对のセンサの内の第 1 のセンサと前記一对の内の第 2 のセンサとの位相が、所定の角度だけずれるように、前記ウエハキャリア内の前記特定の半径に沿って前記一对のセンサを配置し、  
前記一对のセンサの内の前記第 1 のセンサおよび前記第 2 のセンサによって生成された信号を測定し、  
合成信号を生成するために、前記第 1 のセンサおよび前記第 2 のセンサによって生成された前記信号を平均化することを備え、前記平均化は、前記合成信号におけるノイズを除去するよう構成されており、前記合成信号は、前記層の前記厚さを特定するように相関することができる、方法。 40

## 【請求項 9】

請求項 8 に記載の方法であって、前記第 1 のセンサと前記第 2 のセンサとの位相は、180度ずれている、方法。

## 【請求項 10】

請求項 8 に記載の方法であって、前記一对のセンサは渦電流センサである、方法。

## 【請求項 11】

請求項 8 に記載の方法であって、前記一对のセンサの内の前記第 1 のセンサと前記一对のセンサの内の前記第 2 のセンサの位相をずらした配置は、信号抑圧をほぼ排除するよう構成されている、方法。

【請求項 1 2】

請求項 8 に記載の方法であって、前記一对のセンサの内の前記第 1 のセンサおよび前記第 2 のセンサによって生成された信号の強度は、前記ウエハ層の前記厚さと相関する、方法。

【請求項 1 3】

請求項 8 に記載の方法であって、前記ウエハ層の前記厚さは、その場で決定されることが可能である、方法。

【請求項 1 4】

請求項 1 3 に記載の方法であって、その場とは、前記層が処理されている時に、前記層の前記厚さを決定することとして定義される、方法。

【請求項 1 5】

ウエハキャリアによって保持されるよう構成されたウエハの導電層の厚さを検出するための装置であって、

磁場強化ソースによって引き起こされた磁場によって生成された信号を検出するよう構成された複数のセンサを備え、前記複数のセンサは、前記複数のセンサの各センサと、隣接するセンサとの位相が、所定の角度だけずれるように、前記ウエハキャリア内に規定された円に沿って配置されており、

前記複数のセンサによって生成された信号の平均が、合成信号を形成するよう構成されている、装置。

【請求項 1 6】

請求項 1 5 に記載の装置であって、前記合成信号の振幅は、ウエハ層の前記厚さにほぼ比例するよう構成されている、装置。

【請求項 1 7】

請求項 1 5 に記載の装置であって、前記複数のセンサに含まれる各センサは渦電流センサである、装置。

【請求項 1 8】

請求項 1 5 に記載の装置であって、前記合成信号は、前記ウエハ層の前記厚さを決定するために用いられる、装置。

【請求項 1 9】

請求項 1 5 に記載の装置であって、前記ウエハ層の前記厚さは、その場で決定されることが可能である、装置。

【請求項 2 0】

請求項 1 6 に記載の装置であって、その場とは、前記層が処理されている時に、前記層の前記厚さを決定することとして定義される、装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体ウエハの前処理に関し、特に、ウエハ処理中の処理パラメータ制御のためのその場測定に関する。

【背景技術】

【0002】

周知のように、半導体の加工は、いくつかの段階を備えており、それらの段階において、下層の基板に対して様々な層の形成や除去が施される。ウエハの処理能力を増大させるための不断の追求と、より小さい形状サイズおよびより厳密な表面の平坦性に対する絶え間ない要求から、目標となる厚さに達した時に対象となる層の処理を中断できる処理状態監視および終点検出の方法を実施することが求められている。

【0003】

10

20

30

40

50

最近、渦電流センサ (ECS) が、膜の特性の変化を測定するために利用され始めている。渦電流センサを用いるためのこれらの新しい方法に関する情報については、米国特許出願 No. 10/186,472、「INTEGRATION OF EDDY CURRENT SENSOR BASED METROLOGY WITH SEMICONDUCTOR FABRICATION TOOLS」、2002年6月28日出願、を参照することができる。この特許出願の開示は、参照により本明細書に組み込まれる。ECSセンサは、検査対象に近接する試験コイルの電磁場を変動させることによってサンプル内に円電流を誘導することを利用する。変動する電磁場は、コイルに交流を流すことにより生成される。変動する電磁場は渦電流を誘導し、渦電流が、印加された電磁場を乱してコイルのインダクタンスを変化させる。

10

**【0004】**

図1は、渦電流センサの動作原理を示す簡略な説明図である。交流が、導電対象物102に近接して設けられたコイル108を流れる。コイル108の電磁場が、導電対象物102内に渦電流104を誘導する。渦電流104の大きさと位相は、コイル108への負荷に作用するため、コイル108のインピーダンスが、渦電流104の影響を受ける。この影響は、導電対象物102の近接性、および/または、対象物102の厚さが電磁場の侵入深さよりも十分に小さい場合の対象物102の厚さ、に関して測定およびキャリブレーションされる。図に示すように、距離106は、コイル108に対する渦電流104の作用に影響を与える。したがって、対象物102が移動すると、コイル108に対する渦電流104の影響を監視するセンサからの信号も変化する。

20

**【0005】**

化学機械平坦化 (CMP) 動作では、ウエハキャリアが、CMP動作中に処理される薄膜層の厚さを測定するための非接触式の組み込み渦電流センサを備える。ウエハキャリアは、ウエハを支持するよう設計されたキャリア膜を備える。平坦化動作の際には、回転するキャリア、組み込み渦電流センサ、およびウエハが、研磨パッドに向かって押しつけられることで、ウエハの表面が平坦化される。

**【0006】**

残念ながら、対象となる層の終点の検出、または、対象となる層の厚さの測定に、渦電流センサを用いる技術には、いくつかの短所がある。例えば、図2に示すプロット200は、ウエハの中央部および縁部で生成される渦電流センサ信号を示す。グラフ114は、平坦化動作中の渦電流の電圧変化を時間に対して示したものである。グラフ114では、渦電流の電圧変化が、ウエハの中央部に配置された非接触式渦電流センサによって検知されており、グラフ116では、ウエハの縁部に配置された別の非接触式渦電流センサによって検知された平坦化動作中の渦電流の電圧変化が示されている。通常、渦電流センサの信号は正弦的にうねり、各信号のうねりは、キャリアの回転の周波数に従う。しかしながら、図2に示すように、両方の信号が正弦的にうねるにもかかわらず、縁部のグラフ116における信号振幅は、中央部のグラフ114における振幅よりもかなり大きい。

30

**【0007】**

さらに、検査される薄膜層には、電磁場が侵入して、検知側に位置する導電対象物に到達することが可能である。一般に、外部の対象物の構成は、回転するセンサの軌道に関して非対称である。しかしながら、回転によって近接性が変動することから、非一様な外部媒体におけるウエハキャリアひいては渦電流センサの回転に起因して信号振幅における正弦的な変動が起きる。

40

**【0008】**

正弦波信号の振幅の変動は、幅広いパラメータに対する渦電流センサの感度によって生じる。例えば、渦電流センサは、パラメータの中でも特に、キャリア膜の厚さ、離間距離、温度、および圧力の変動に対して敏感であることが認められている。さらに、検査される薄膜層で生成される渦電流の大きさおよび位相は、薄膜層とセンサとの近接性はもちろん、薄膜層の特性 (例えば、厚さ、抵抗率、形状など) にも敏感である。

**【0009】**

50

例えば、「離間距離」パラメータ、すなわち、研磨される層と渦電流センサの表面との間の距離は、多くの理由から異なりうる。キャリア膜の厚さが変化した（例えば、+/-数ミル）場合には、離間距離においてかなりの変動が生じる。離間距離は、さらに、様々な程度の圧力で研磨パッドに押しつけられたキャリア膜の圧縮によって生じるキャリア膜の厚さの変化の結果として変動する。キャリア膜の厚さ、ひいては、離間距離は、さらに、回転しているウエハの前縁部が、動いている研磨パッドに対して接点で突っ込んだ際に変化する。この時点で、接点に加わる圧力は、キャリア膜の圧縮を引き起こし、離間距離、ひいては、渦電流信号振幅の振幅を変動させる。明らかに、離間距離に作用するパラメータすべてに対してキャリブレーションを行うことは極めて困難であり、最終的に、センサによる厚さの測定値に悪影響を及ぼすことになる。

10

**【0010】**

渦電流信号の振幅に作用する別の可変パラメータは、ウエハ表面にわたる非一様な温度勾配に関連する。例えば、ウエハ前縁部の温度は、ウエハ前縁部が、動いている研磨パッドに接触すると上昇する。次いで、ウエハ後縁部の温度は、ウエハ後縁部が、研磨パッドに接触してウエハ後縁部の温度を上昇させると上昇する。温度の変動に対する渦電流センサの感度は、渦電流の正弦波信号の振幅に直接的に影響する。この場合にも、温度変化に対するキャリブレーションが極めて困難なことから、渦電流センサによる厚さの測定値に影響がある。

**【0011】**

さらに、正弦波信号の振幅は、センサが、ウエハキャリアの範囲内でウエハの中央部に近接しているかウエハの縁部に近接しているかによって変化する。信号の振幅は、センサがウエハの中央部から離れた位置にあるほど増大する。

20

**【0012】**

明らかに、これらのパラメータの複合的な影響は、渦電流センサの信号を用いる厚さの測定や終点検出に対して、許容できないほどの大きさの誤差と予測不能性をもたらし、処理されたウエハ層の研磨の過不足を引き起こし、ウエハを損傷させ、ひいては、ウエハの処理能力および歩留まりを低下させる。

**【0013】**

以上の観点から、処理パラメータを制御することにより対象層の厚さを決定できる柔軟な方法およびシステムが求められている。

30

**【発明の開示】****【0014】**

概して、本発明は、処理されるウエハを保持するよう構成されたウエハキャリアの半径に沿ってほぼ一様に配置された複数の相補的なセンサによって生成された逆位相の正弦波信号を平均化して、リアルタイムのウエハ層の厚さまたはウエハ層の終点を決定することによって、上述の要求を満たす。本発明は、処理、装置、システム、デバイス、または方法を含む種々の形態で実施できることを理解されたい。以下では、本発明の実施形態をいくつか説明する。

**【0015】**

一実施形態では、ウエハの層の厚さを検出するための方法が提供されている。その方法は、処理されるウエハを保持するよう構成されたウエハキャリアの特定の半径を規定することを備える。その方法は、さらに、1組の相補的なセンサを形成するよう構成された複数のセンサを準備することを備える。さらに、その方法は、複数のセンサの内の各センサと、隣接するセンサとの位相が、同じ角度だけずれるように、ウエハキャリア内の特定の半径に沿って複数のセンサを配置することを備える。その方法は、さらに、複数のセンサによって生成された信号を測定することを備える。さらに、合成信号を生成するために、複数のセンサによって生成された信号を平均化することが備えられている。平均化は、合成信号が、層の厚さを特定するように相関することができるよう、合成信号からノイズを除去するよう構成されている。

40

**【0016】**

50

別の実施形態では、ウエハのウエハ層の厚さを検出するための方法が提供されている。その方法は、処理されるウエハを保持するよう設計されたウエハキャリアの特定の半径を規定することを備える。その方法は、さらに、一对のセンサを準備し、一对のセンサの内の第1のセンサと一对のセンサの内の第2のセンサとの位相が、所定の角度だけずれるように、ウエハキャリア内の特定の半径に沿って一对のセンサを配置することを備える。その方法は、さらに、一对のセンサの内の第1のセンサおよび第2のセンサによって生成された信号を測定することを備える。さらに、合成信号を生成するために、第1のセンサおよび第2のセンサによって生成された信号を平均化することが備えられている。平均化は、層の厚さを特定するように相関することができる合成信号からノイズを除去するよう構成されている。

10

**【0017】**

さらに別の実施形態では、ウエハキャリアによって保持されるよう構成されたウエハの導電層の厚さを検出するための装置が提供されている。その装置は、磁場強化ソースによって引き起こされた磁場によって生成された信号を検出するよう構成された複数のセンサを備える。複数のセンサは、複数のセンサに含まれる各センサと、隣接するセンサとの位相が、所定の角度だけずれるように、ウエハキャリア内に規定された円に沿って配置される。複数のセンサによって生成された信号の平均は、合成信号を形成するよう構成されている。

**【0018】**

本発明には、数多くの利点がある。最も顕著なものとして、本発明の実施形態は、同じ円に沿って一様に分布するよう配置された任意の組み合わせのセンサを用いて、対応する円運動によって引き起こされる信号のうねりを排除することができる。このように、正弦のクリアな信号が、除去されている金属薄膜の厚さと正確に相関することで、CMP処理などの半導体加工処理で用いられる信頼性の高い処理状態監視や終点検出方法が提供される。別の利点は、アルゴリズム的な平均化の手順を用いることから、回転によって障害を受けない合成信号が、リアルタイムで記録されることである。アルゴリズム的な平均化の手順は、有利なリアルタイム監視方法である。さらに別の利点は、特定の半径に沿って一様に分布するよう配置されたセンサを用いることにより、周期的な運動に関連する（例えば、うねりのある）信号成分は、さらなる調整を必要とすることなく、かつ、複雑さ（すなわち、信号が、単純な正弦波を有するか、より複雑な例において、その他の形状を有するか）に関わらず、自動的かつ完全に抑圧されることである。さらに別の利点は、本発明の実施形態は、任意の種類 CMPシステム（例えば、直線 CMPシステム、回転テーブル式 CMPシステム、オービタル式 CMPシステムなど）で利用可能なことである。またさらに別の利点は、本発明の実施形態は、信号のうねりを引き起こす検知空間における条件を調節するために、周期的なシステムの運動を利用する任意のデバイスで利用できることである。

20

30

**【0019】**

本発明のその他の態様および利点については、本発明の原理を例示した添付図面との関連で行う以下の詳細な説明から明らかになる。

**【発明を実施するための最良の形態】**

40

**【0020】**

ウエハの層の終点または厚さを正確に決定するための発明が提供されている。一実施形態では、複数の相補的なセンサによって生成される複数の正弦波信号が平均化されて、処理されているウエハの層の厚さとほぼ相関するよう構成された正弦抑圧信号が生成される。一実施形態では、ウエハキャリアの円に沿って配置された1組の相補的なセンサによって生成される複数の信号が平均化されて、処理または除去されているウエハの層の厚さとほぼ相関する正弦抑圧信号が生成される。本明細書で用いられているように、「相補的なセンサ」という用語は、生成される正弦信号の平均における正弦波成分が、処理されているウエハの層の厚さと正確に相関するよう十分に抑圧されるように、ウエハキャリアの円に沿ってほぼ一様に分布された1組の2以上のセンサを意味する。

50

## 【0021】

好ましい実施形態では、ノイズの正弦波成分は、複数の相補的なセンサによって生成される位相の異なる信号を平均化することにより除去される。「ノイズ」という用語は、本明細書で用いられているように、生成された信号に作用する任意の要素（例えば、うねりによる障害など）を意味する。このように、信号対ノイズ比を大幅に改善しつつセンサ信号を決定するために、抑圧正弦信号を用いることが可能である。一例では、複数のセンサは、渦電流センサ（ECS）センサである。

## 【0022】

以下の説明では、本発明の完全な理解を促すために、数多くの具体的な詳細事項が示されている。しかしながら、当業者にとって明らかなように、本発明は、これらの具体的な詳細事項の一部もしくはすべてがなくとも実施可能である。また、本発明が不必要に不明瞭となることを避けるため、周知の処理動作の説明は省略した。

10

## 【0023】

図3Aは、本発明の一実施形態に従って、ウエハ122の層の厚さを測定する一对の相補的なセンサ128aおよび128bを備える代表的なウエハキャリア118を示す簡略な説明図である。一実施形態では、相補的なセンサ128aおよび128bはECSセンサである。図3Aの実施形態に示すように、ウエハキャリア118は、ジンバル134を用いるキャリアスピンドル133に取り付けられている。ウエハキャリア118の上方に配置されたジンバル134は、研磨動作中にウエハキャリア118およびウエハ122を、動いている研磨パッド130に対して位置決めするために用いられる。図からわかるように、キャリアスピンドル133に取り付けられたジンバル135は、ウエハ回転方向134に回転するよう設計されている。キャリアスピンドル133は、ウエハキャリア118ひいてはウエハ122を、動いている研磨パッド130に押しつけるよう構成されている。

20

## 【0024】

一例では、ウエハキャリア118ひいてはウエハ122は、回転方向134に回転すると共に、力Fで研磨パッド132に押しつけられる。一部の実施形態では、ウエハキャリア118およびウエハ122を研磨パッド130に対して位置決めするためのジンバル135を備える代わりに、ウエハ122は、最初にウエハ122の前縁部122aが研磨パッド130に突っ込むように、研磨パッド130に対して当てられる。その後、ウエハの中央部122cおよび後縁部122bが、研磨パッド130に接触する。

30

## 【0025】

別の実施形態では、前縁部122aが研磨パッド130に突っ込むことで、ウエハの前縁部122aに近接するキャリア膜120の厚さが減少する。結果として、ECSセンサ128aによって検出される離間距離ひいてはECS信号が変化する。また、ウエハ前縁部122aが研磨ウエハに突っ込むと、ウエハ前縁部122aにおける温度が上昇し、ウエハ前縁部122aに近接する正弦的なうねりに影響する。以下で詳細に説明するように、一実施形態では、ECSセンサ128aおよび128bによってウエハの前縁部122aおよび後縁部122bにおいてそれぞれ検出されるECS信号は、ECS信号のうねりを抑圧するために用いられる。

40

## 【0026】

図3Bは、本発明の一実施形態に従って、研磨パッド130に押しつけられている図3Aのウエハキャリアを示す簡略な上面図である。図からわかるように、ECSセンサ128aは、ウエハ122の範囲内に規定される仮想の円123aの半径R上に存在し、相補的なECSセンサ128bは、仮想の円123aの半径-R上に存在する。このように、以下で説明するように、正弦の関数の1つを効果的に用いて、信号のうねりの振幅における変動を排除（すなわち、ノイズの正弦波成分すべてを排除）することができる。明らかに、結果として生じる抑圧正弦信号は、対象となる層の実際の厚さとほぼ相関する。

## 【0027】

図3Cは、本発明の一実施形態に従って、2つのECSセンサ128aおよび128b

50

が互いに180度だけ位相が異なるように配置されている様子を示す図3Aのウエハキャリア118の簡略な上面図である。すなわち、一方のセンサ128aからの信号は、他方のセンサ128bからの信号によって相殺される。図からわかるように、ECSセンサ128aは、角度0度131に対して角度をなし、ECSセンサ128bは、角度0度131に対して角度180+をなす。さらに、図に示すように、ECSセンサ128aは、半径-Rの位置に配置されているECSセンサ128bと対称的に、半径Rの位置に配置されている。

【0028】

一実施形態によると、以下の表1に示すように、図3Cの実施形態において正弦波の振幅の変動を抑圧する様子をさらに理解することができる。一実施形態では、キャリアの回転によって正弦的に変化する実際の信号の大きさをS0とする。その結果、実際の信号の大きさSは、以下のように振動するよう構成される。

10

$$S = S_0 (1 + \sin \alpha)$$

さらに、与えられた円に配置された(すなわち、直径の反対側にそれぞれ配置された)センサ1およびセンサ2にそれぞれ対応する信号トレースS1およびS2も、表1に提供された振動の式に従う。信号トレースS1およびS2の正弦成分を同時に平均化することにより、リアルタイムで振動のない実際の信号振幅を得ることができる。

【表1】

表1 - 2つのセンサによる相補的な正弦信号抑圧

20

$$S_1 = S_0(1 + \sin \alpha)$$

$$S_2 = S_0(1 + \sin (180 + \alpha))$$

$$(S_1 + S_2)/2 = S_0(1 + 1 + \sin \alpha + \sin (180 + \alpha))/2$$

$$(S_1 + S_2)/2 = S_0(2 + 0)/2$$

$$(S_1 + S_2)/2 = S_0 * 2/2$$

$$(S_1 + S_2)/2 = S_0$$

30

【0029】

表からわかるように、一对の相補的なECSセンサを用いる場合には、それぞれのセンサによって生成される正弦波信号は、同調して記録される。次いで、正弦波信号の正弦成分は、用いているセンサの数(この例では2つ)に従って平均化される。このように、ECS正弦波信号の振幅における変動が抑圧されるため、回転の正弦波ノイズによる実質的な影響を受けず、処理される層の実際の厚さと正確に相関する信号が生成される。

40

【0030】

図3Dは、本発明の一実施形態に従って、3組の相補的なECSセンサを組み込んだウエハキャリア118を示す簡略な上面図である。図からわかるように、第1の組の相補的なECSセンサ128aおよび128a'は、それぞれ、半径R1および-R1の位置に配置されている。同様に、第2の組の相補的なECSセンサ128bおよび128b'は、半径R2および-R2の位置に配置され、第3の組の相補的なECSセンサ128cおよび128c'は、半径R3および-R3の位置に配置されている。一実施形態によると

50

、各対の相補的なECSセンサの正弦波信号の正弦成分は、同調して記録および平均化され、ウエハの層の厚さと十分に相関する合成正弦抑圧正弦波信号が生成される。すなわち、各対のECSセンサの間で正弦波信号を相殺することにより、各対のセンサによって生成される電磁場が互いに抑制しあう。明らかに、各々の相補的な対のECSセンサ128aおよび128a'、128bおよび128b'、128cおよび128c'の平均は、ほぼ0に等しい。図に示すように、半径R3は半径R2よりも大きく、半径R2は半径R1よりも大きい。以下で詳細に説明するように、半径が大きくなるほど、勾配が大きくなる。しかしながら、本発明の実施形態は、相補的なECSセンサを用いることで同調して記録された正弦波信号の正弦成分を平均化することにより、勾配における変動を排除する。

10

#### 【0031】

ECSセンサの正弦波信号の振幅における変動を抑圧する様子は、本発明の一実施形態に従って、図4に示された相補的なECSセンサによって生成される信号のグラフにも示されている。グラフ134aは、ECSセンサ128a'によって生成された渦電流センサ出力を、時間(すなわち、x軸110)に対してボルト(すなわち、y軸112)でプロットしたものである。同様に、グラフ134a'は、ECSセンサ128aによって生成された渦電流センサ出力を、時間に対してボルトでプロットしたものである。グラフ134''は、ECSセンサ128aおよび128bの正弦波信号の正弦成分の平均を表す。明らかに、半径Rを有する円上の角度θの位置に配置されたECSセンサの正弦波ECS信号と、半径-R上の角度180+θの位置に配置されたECSセンサのECS信号との正弦成分を平均化することにより、正弦波信号に影響するノイズの正弦成分は、ほぼ排除される。このように、処理されている金属層の厚さは、正弦抑圧された合成信号の振幅とほぼ相関する。一実施形態では、信号の強度は、各センサ128aおよび128a'と、処理されているウエハの層との距離と、線形的に相関する。ウエハの層がセンサ128aに向かって移動することによって引き起こされる各信号の強度変化は、ウエハの層がセンサ128a'から遠ざかることで生じるほぼ正反対の強度変化によって相殺される。このように、ノイズの正弦成分によって引き起こされる正弦波信号の振幅における変化がほぼ排除されるという利点がある。

20

#### 【0032】

例えば、信号が最小の時点では、ECSセンサは、除去される連続的な金属から実質的に最小の距離を有する。その後、金属膜の厚さが小さくなるほど、グラフ134aおよび134a'に示すように、信号の強度が増大する。信号強度の増大は、正弦波のグラフ134aおよび134a'が比較的滑らかな軌道を示す時点で、金属膜(例えば、銅膜)がウエハ表面からほぼ完全に除去されるまで継続する。

30

#### 【0033】

図からわかるように、各センサによって生成された信号は、グラフ134aおよび134a'に示すように正弦波成分を含む。それらの成分は、図からわかるように、ほぼ等しいが、位相がずれている。したがって、等しいが位相のずれた振幅を有する2つの正弦波ECS信号の平均、すなわち、複合グラフ134a''は、ノイズの正弦成分が排除されたグラフとなる。このように、複合正弦抑圧信号は、正弦波ECS信号が金属膜の厚さに相関することから、対象となる層(すなわち、金属膜)の実際の厚さの尺度として利用可能である。一実施形態では、用いられるECSセンサは、SUNX Limitedから入手可能なGP-Aシリーズアナログ変位センサなど、一般に利用可能なECSセンサである。

40

#### 【0034】

図5Aは、本発明の一実施形態に従って、一对の相補的なECSセンサのグラフ136aおよび136a'を示す簡略な拡大図である。図に示すように、グラフ136aは、半径Rの位置に配置されたセンサからのECS信号を示しており、グラフ136a'は、半径-Rの位置に配置され第1のセンサに対して180度だけ位相のずれたセンサからのECS信号を示している。当業者であれば、それらのグラフ136aおよび136a'につ

50

いて信号振幅の変動を認識することができる。本発明の一実施形態によると、180度だけ位相のずれた対になるセンサを用いることにより、2つの信号のグラフ136aおよび136a'の正弦成分を単純平均して正弦抑圧されたグラフ136a''を生成することで、信号振幅の変動を排除することができる。

【0035】

図5Cは、本発明の一実施形態に従って、グラフ136a、136a'、および136a''を示す簡略な拡大図である。図に示すように、グラフ136aおよび136a'は両方とも、変化する振幅を有する正弦曲線であり、それら2つのグラフ136aおよび136a'は、ほぼ180度だけ位相角のずれたECS信号によって生成される。2つのグラフ136aおよび136a'グラフが、明らかな振幅の変動と、ノイズによって引き起こされるうねりとを有するにもかかわらず、図に示すように、複合グラフ136a''は、ノイズによって引き起こされるうねりが排除された正弦抑圧信号のグラフとなっている。そのため、除去されている金属膜の実際の厚さを決定するために、複合グラフの信号136a''を用いることができる。

10

【0036】

複数の相補的なECSセンサを含む1組の相補的なECSセンサを用いて、正弦抑圧された合成グラフを生成する様子が、本発明のいくつかの実施形態に従って、図6Aないし6Hに示されている。図6Aは、互いに120度だけ位相のずれた1組の3つの相補的なセンサ128a、128b、および128cを備えるキャリアヘッド118を示している。このように、空間的に金属膜(すなわち、対象となる層)を覆う範囲が増大するため、金属膜の厚さをより正確に測定することができる利点がある。以下に示す表2は、センサ信号の同期測定と、センサ信号の正弦成分の平均化とが可能な一例の3つのセンサを含む相補的なセンサによって生成されたセンサ信号の抑圧について、さらなる説明を加えるものである。

20

【表 2】

表2 - 3つの相補的なセンサによる振幅の抑圧

$$(S1 + S2 + S3)/3 = S0 (3 + \sin \alpha + \sin (\alpha + 120) + \sin (\alpha + 240))/3$$

$$\sin x + \sin y = 2 \sin ((x+y)/2) \cos((x-y)/2)$$

$$\sin (\alpha + 120^\circ) + \sin (\alpha + 240) =$$

$$2 [\sin(\alpha + 12 + \alpha + 240)/2][\cos (\alpha + 12 - \alpha - 240)/2]$$

$$\sin (\alpha + 120^\circ) + \sin (\alpha + 240) = 2 [\sin(2\alpha + 360)/2][\cos (-120)/2]$$

$$\sin (\alpha + 120^\circ) + \sin (\alpha + 240) = 2 [\sin(\alpha + 180)] \cos (-60)$$

$$\sin (\alpha + 120^\circ) + \sin (\alpha + 240) = 2 (-\sin \alpha ) (1/2)$$

$$\sin (\alpha + 120^\circ) + \sin (\alpha + 240) = -\sin \alpha$$

$$(S1 + S2 + S3)/3 = S0 (3 + \sin \alpha - \sin \alpha )/3$$

$$(S1 + S2 + S3)/3 = S0 (3)/3$$

$$(S1 + S2 + S3)/3 = S0$$

10

20

30

【0037】

同様に、図6Bは、半径Rを有する円に沿って配置され互いに90度だけ位相のずれた4つのセンサ128a、128b、128c、および128dからなる1組の相補的なセンサを備えるキャリアヘッド118を示している。一実施形態では、この構成は、互いに直径の両側に配置された二対のセンサとして構成されてもよい。

【0038】

図6Cは、さらに別の実施形態に従って、円に沿って配置され互いに72度だけ位相のずれた5つの相補的なセンサ128a - 128eを備えるウエハキャリア118を示している。図6Dは、別の実施形態に従って、互いに60度だけ位相のずれた6つの相補的なセンサ128a - 128fを示している。図6Eおよび6Fは、互いに52度だけ位相のずれた7つの相補的なセンサ128a - 128gを備えるウエハキャリアと、互いに45度だけ位相のずれた8つの相補的なセンサ128a - 128hを備えるウエハキャリア118とをそれぞれ示している。すでに詳細に説明したように、ノイズの正弦成分が排除された正弦抑圧合成信号を生成して、金属膜の厚さとほぼ相関するセンサ信号を提供するために、複数組の相補的なセンサを用いることができる。

40

【0039】

複数の組み合わせの相補的なセンサを用いる様子は、本発明に従った図6Gおよび6Hの実施形態に示されている。図6Gに示すように、一実施形態によると、相補的なセンサ128a - 128iは、40度ずつ位相をずらしてウエハキャリア118内の半径Rに沿って配置されており、センサ138aおよび138a'は、180度だけ位相をずらして

50

半径  $R'$  に沿って配置されている。このように、互いに  $180$  度だけ位相のずれたセンサ  $138a$  および  $138a'$  によって生成された信号の正弦成分の平均は、半径  $R'$  とその周辺における膜の厚さにほぼ相関する正弦抑圧信号を提供する。同様に、互いに  $40$  度だけ位相のずれたセンサ  $128a - 128i$  からの信号の平均は、半径  $R$  とその周辺における膜の厚さにほぼ相関する正弦抑圧信号を提供する。

【0040】

一実施形態では、センサの配置される円の半径が大きくなるほど、温度、圧力、または離間距離の勾配が大きくなる。したがって、図 6 G の実施形態では、半径  $R'$  よりも大きい半径  $R$  においては、温度、圧力、または離間距離の勾配が大きくなる。その結果、生成された正弦波センサ信号は、半径  $R'$  に沿って生成された正弦波センサ信号よりも大きい振幅を有する。

10

【0041】

図 6 H は、本発明の一実施形態に従って、別の組み合わせの相補的なセンサを備えるキャリアヘッド 118 を示す。図に示すように、相補的なセンサ  $128a - 128j$  は、半径  $R$  に沿って互いに  $36$  度だけ位相をずらして配置されている。さらに、2つの相補的なセンサ  $138a$  および  $138a'$  の組み合わせが、半径  $R'$  に沿って互いに  $180$  度だけ位相をずらして配置されている。

【0042】

本発明の実施形態は、図によると、2ないし  $10$  の相補的なセンサを備えているが、当業者にとって明らかなように、本発明の実施形態は、キャリアヘッドの同一の円に沿って一様に等しく分布するよう配置された任意の適切な組み合わせのセンサを用いて、ウエハの層の厚さとほぼ相関する正弦波信号を生成してよい。さらに、それぞれの円に沿って等しく分布された多数の組み合わせのセンサを用いて、センサのそれぞれの位置におけるウエハの層の厚さと相関させてもよいことを理解されたい。

20

【0043】

さらに、本発明の一部の実施形態は、ECS センサに関連して説明されているが、本発明の実施形態は、任意の適切な型のセンサ（例えば、赤外線、静電容量、音波など）によって生成された信号を抑圧するために用いることもできる。

【0044】

例えば、赤外線センサは、研磨ベルトの温度を経時的に測定するために用いられてよい。当業者にとって明らかなように、シリコン基板は赤外線信号を通すため、赤外線信号は、研磨パッドの表面によって処理されているウエハの薄膜（すなわち、対象となる層）の温度を検出することができる。一実施形態では、ウエハの温度は、CMP 処理中の温度変化を観察するために監視される。一実施例では、ウエハの温度と研磨パッドの温度は、終点において下がり始める。

30

【0045】

図 7 は、本発明の一実施形態に従って、複数の相補的なセンサを用いて金属膜の厚さを決定するために実行される動作を示すフローチャート 700 である。その方法は、複数の相補的なセンサが準備される動作 702 から始まる。一実施形態では、複数のセンサは ECS センサである。複数の相補的なセンサは、処理されるウエハを保持するよう構成されたウエハキャリアの範囲内に配置される。一実施形態では、処理されるウエハは金属膜を備える。次に、複数のセンサによって生成された信号を用いて、合成信号が生成される。次いで、その合成信号を用いて、ウエハ表面に設けられた金属膜の厚さが決定される。すでに詳述したように、正弦抑圧合成信号は、実質的にはノイズの正弦成分の影響を受けないため、除去されている膜層の厚さと十分に相関する。

40

【0046】

図 8 は、本発明の別の実施形態に従って、複数の相補的なセンサを用いてエッチングの終点を検出する際に実行される方法の動作を示すフローチャートである。その方法は、複数のセンサが準備される動作 802 から始まる。次に、動作 804 において、ウエハキャリア上で半径によって規定される特定の円が規定される。その後、動作 806 において、

50

複数のセンサは、ウエハキャリア内の特定の半径に沿って配置され、1組の逆位相の相補的なセンサを形成する。一例では、センサは、ウエハキャリアの特定の半径に沿って一様に分布される限りは相補的となり、十分に抑圧された正弦信号を生成する。例えば、1組の相補的なセンサは、互いに180度だけ位相のずれた2つのセンサ、互いに120度だけ位相のずれた3つのセンサ、互いに90度だけ位相のずれた4つのセンサなどを備えてよい。

#### 【0047】

その方法は、次いで、1組の相補的なセンサの各センサによって生成された信号が測定される動作808に進み、生成された信号の正弦成分が平均化されて合成信号が生成される動作810に進む。次いで、動作812において、その合成信号を用いて、ウエハ表面に設けられた金属膜のエッチングの終点が決定される。

10

#### 【0048】

一実施形態では、ウエハキャリアは、ジンバルによって研磨パッドと位置決めされているが、本発明の実施形態は、ジンバルを用いるCMPシステムに限定されない。さらに、本発明の実施形態は、直線的な研磨パッドを備えるCMPシステムで用いられているが、別の実施形態において、任意の適切な研磨テーブルが用いられてもよい(例えば、回転式など)。さらに、本発明の実施形態は、CMP処理に関して説明されたが、相補的なセンサは、CMP処理に限定されない。例えば、センサは、エッチングおよび蒸着処理など、基板に対して層または膜の除去または蒸着を行う任意の半導体処理において利用可能である。本発明は、本明細書において、いくつかの代表的な実施形態を用いて説明されている。当業者にとっては、本明細書の考慮と本発明の実践から、本発明の別の実施形態が明らかとなる。上述の実施形態および好ましい特徴は例示的なものであり、本発明は添付の特許請求の範囲によって規定される。

20

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0049】

【図1】渦電流センサの動作原理を示す簡略な説明図。

【図2】ウエハの中央部および縁部に配置された2つの非接触式渦電流センサの信号を示すグラフ。

【図3A】本発明の一実施形態に従って、化学機械平坦化処理(CMP)中にウエハ層の厚さを測定するための一对の相補的なセンサを備える代表的なウエハキャリアを示す説明図。

30

【図3B】本発明の一実施形態に従って、図3Aに示したウエハキャリアおよび一对の相補的な渦電流センサを示す簡略な上面図。

【図3C】本発明の一実施形態に従って、別の対の代表的な渦電流センサを示す簡略な上面図。

【図3D】本発明の一実施形態に従って、3組の相補的なECSセンサを組み込んだ代表的なウエハキャリアを示す簡略な上面図。

【図4】本発明のさらに別の実施形態に従って、代表的な一对の相補的な渦電流センサによって生成された正弦波信号を示すグラフ。

【図5A】本発明の一実施形態に従って、代表的な一对の相補的な渦電流センサによって生成された正弦波信号を示すグラフ。

40

【図5B】本発明の一実施形態に従って、代表的な一对の相補的な渦電流センサによって生成された正弦波信号を示すグラフ。

【図5C】本発明の一実施形態に従って、代表的な一对の相補的な渦電流センサによって生成された正弦波信号を示すグラフ。

【図6A】本発明のさらに別の実施形態に従って、対象となる層の厚さを測定するための3つの相補的な渦電流センサを示す簡略な上面図。

【図6B】本発明のさらに別の実施形態に従って、対象となる層の厚さを測定するための4つの相補的な渦電流センサを示す簡略な上面図。

【図6C】本発明のさらに別の実施形態に従って、対象となる層の厚さを測定するための

50

5つの相補的な渦電流センサを示す簡略な上面図。

【図6D】本発明のさらに別の実施形態に従って、対象となる層の厚さを測定するための6つの相補的な渦電流センサを示す簡略な上面図。

【図6E】本発明のさらに別の実施形態に従って、対象となる層の厚さを測定するための7つの相補的な渦電流センサを示す簡略な上面図。

【図6F】本発明のさらに別の実施形態に従って、対象となる層の厚さを測定するための8つの相補的な渦電流センサを示す簡略な上面図。

【図6G】本発明のさらに別の実施形態に従って、対象となる層の厚さを測定するために複数組の相補的なセンサを利用する様子を示す簡略な上面図。

【図6H】本発明のさらに別の実施形態に従って、対象となる層の厚さを測定するために複数組の相補的なセンサを利用する様子を示す簡略な上面図。

【図7】本発明のさらに別の実施形態に従って、複数の相補的なセンサを用いて金属薄膜の厚さを決定するために実行される動作を示すフローチャート。

【図8】本発明のまたさらに別の実施形態に従って、複数の相補的なセンサを用いてエッチングの終点を検出する際に実行される方法の動作を示すフローチャート。

10

【図1】

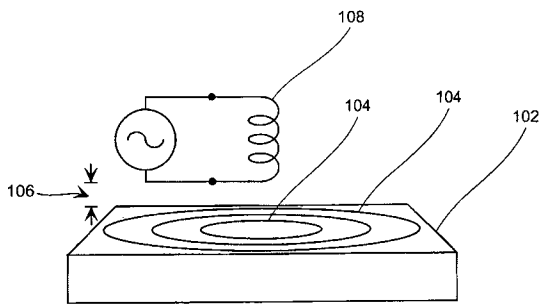


FIG. 1  
(従来技術)

【図2】

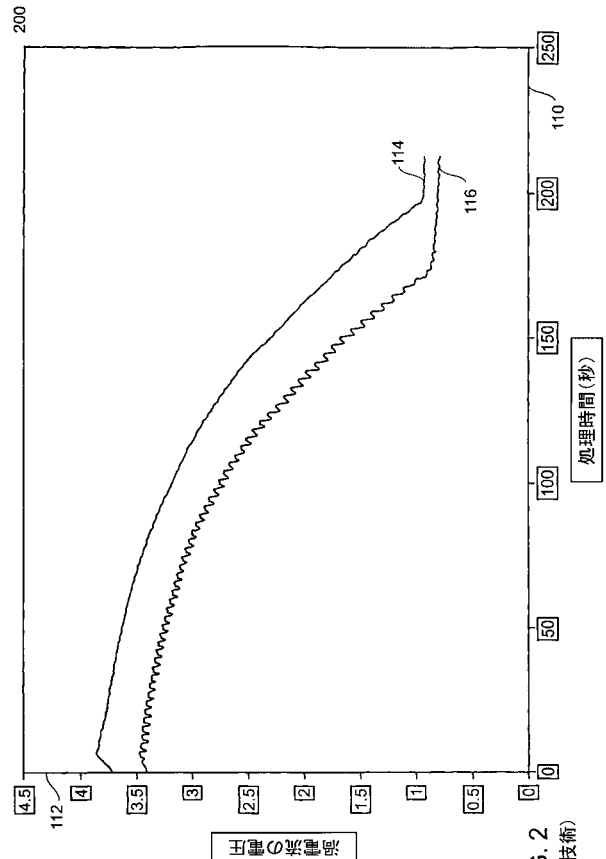


FIG. 2  
(従来技術)

【図 3 A】

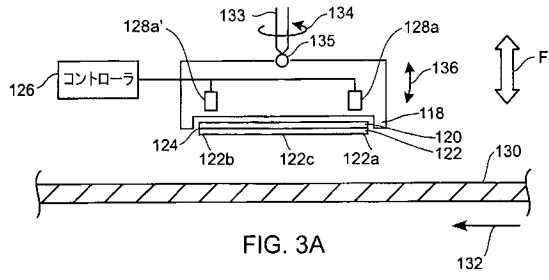


FIG. 3A

【図 3 B】

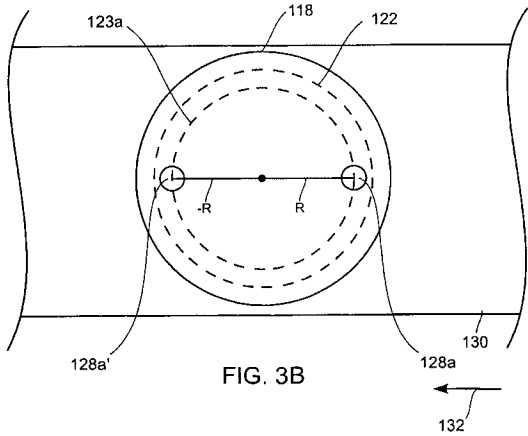


FIG. 3B

【図 3 C】

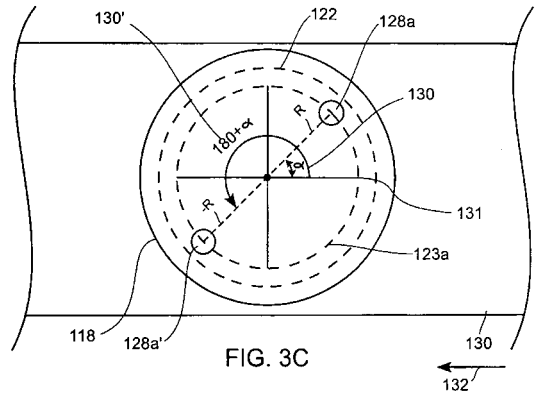


FIG. 3C

【図 3 D】

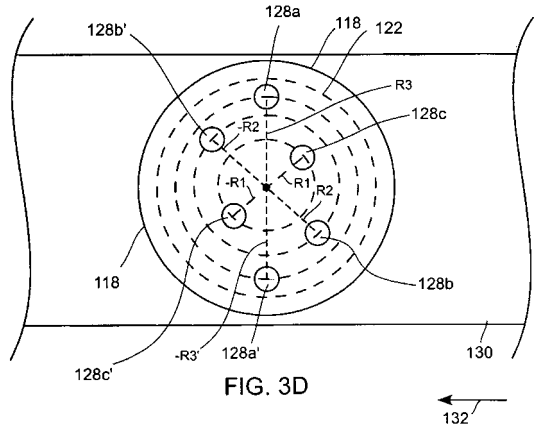


FIG. 3D

【図 4】

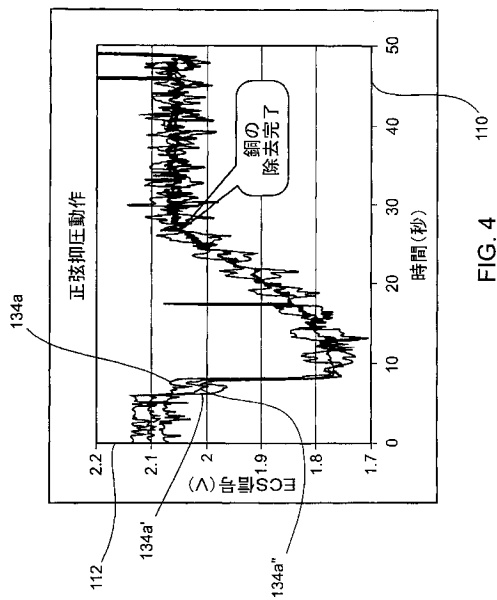


FIG. 4

【図 5 A】

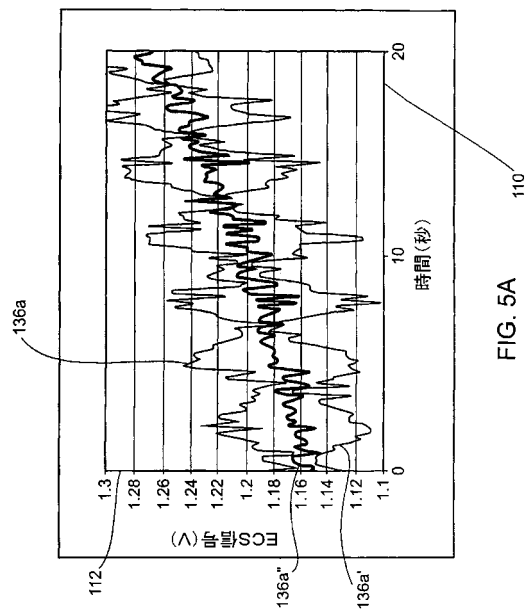
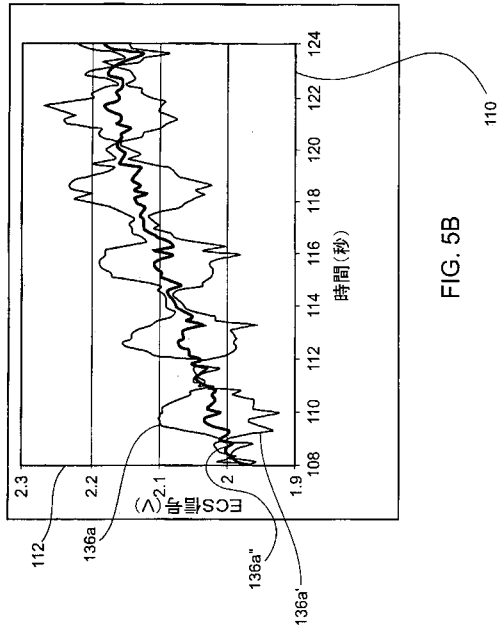
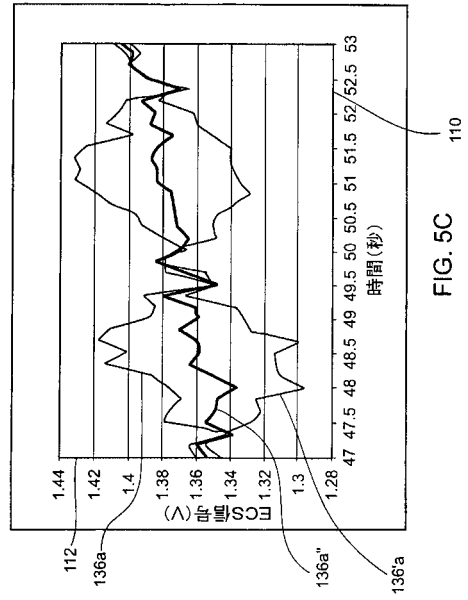


FIG. 5A

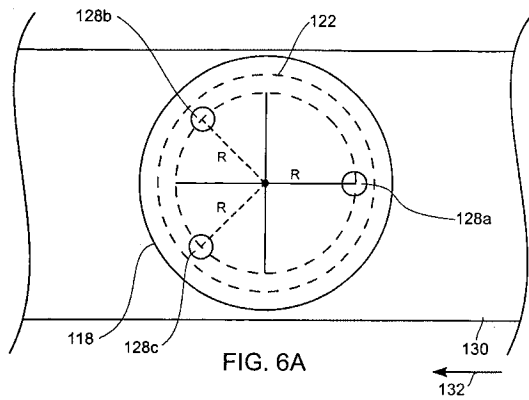
【 図 5 B 】



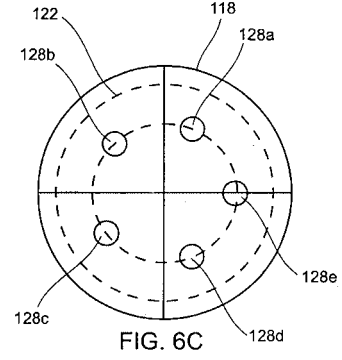
【 図 5 C 】



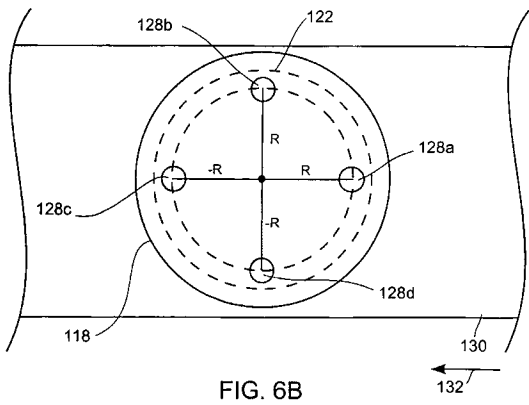
【 図 6 A 】



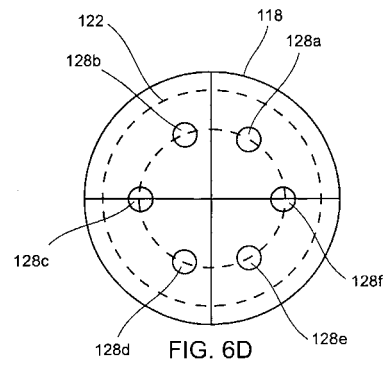
【 図 6 C 】



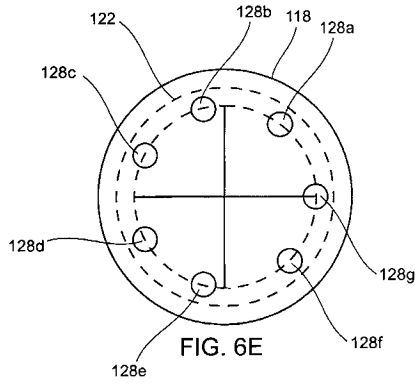
【 図 6 B 】



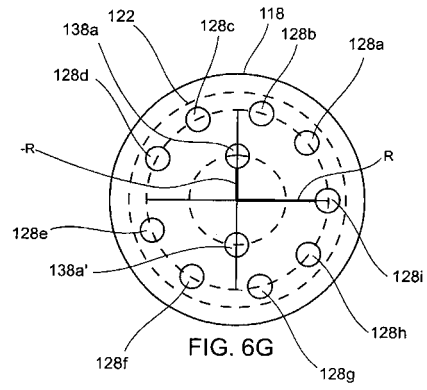
【 図 6 D 】



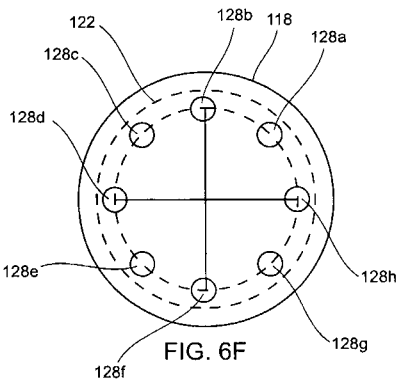
【 図 6 E 】



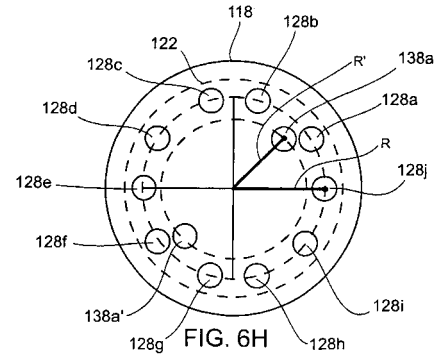
【 図 6 G 】



【 図 6 F 】



【 図 6 H 】



【 図 7 】

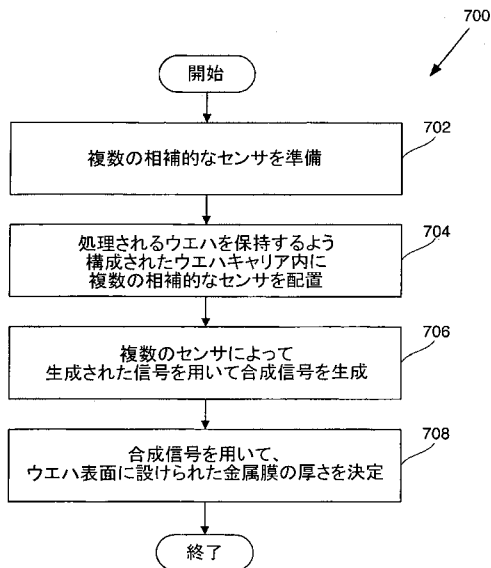


FIG. 7

【 図 8 】

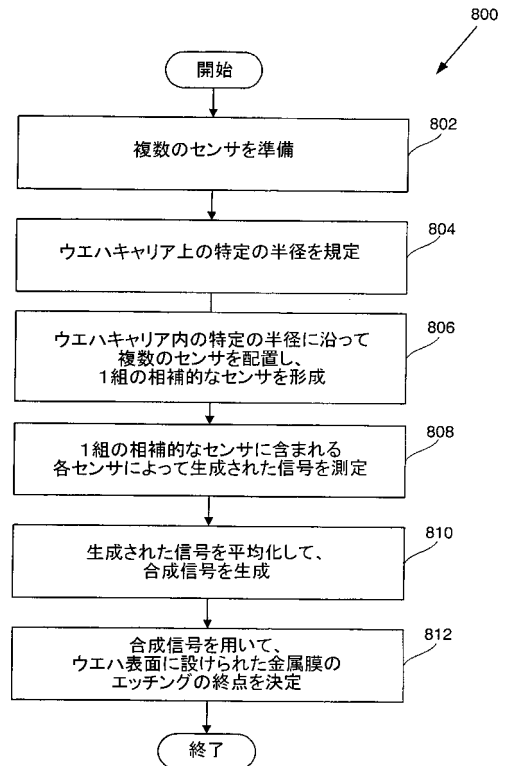


FIG. 8

## 【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US03/40391
<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
IPC(7) : G01B 7/06; G01R 33/12 US CL : 324/230; 451/8; 702/170 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) U.S. : 324/230,243,229,238,240,233; 451/8; 702/170,38; 438/7; 427/8-10		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched NONE		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) Please See Continuation Sheet		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 5,559,428 A (LI et al.) 24 September 1996 (24.09.1996), see Figs. 4 and 6A.	8-20
Y	US 3,815,017 A (NOPPER et al.) 04 June 1974 (04.06.1974), see Figs. 1 and 2, col. 2, line 61-col. 3, line 24.	8-20
A	US 5,525,903 A (MANDL et al.) 11 June 1996 (11.06.1996), see entire document.	1-20
A	US 6,040,694 A (BECKER) 21 March 2000 (21.03.2000), see entire document.	1-20
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents:		
"A"	document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"E"	earlier application or patent published on or after the international filing date	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"L"	document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"O"	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family
"P"	document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	
Date of the actual completion of the international search 27 April 2004 (27.04.2004)		Date of mailing of the international search report 27 MAY 2004
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US Commissioner for Patents P.O. Box 1450 Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. (703) 305-3230		Authorized officer JOSE DEES <i>Shawn S. Napper</i> Telephone No. 571-272-1569

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

PCT/US03/40391

**Continuation of B. FIELDS SEARCHED Item 3:**

USPAT, USPGPUB, EPO, JPO, DERWENT search terms: thickness with wafer (thickness with wafer) and sensors, ((thickness with wafer) and sensors) and average\$3 or combin\$5)

## フロントページの続き

(81) 指定国 AP(GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW

- (72) 発明者 キストラー・ロッドニー  
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 0 3 2 ロス・ガトス, ベルプエ・ドライブ, 1 3 1
- (72) 発明者 オウクザース・アレクサンダー  
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 1 3 5 サン・ホセ, デベロン・コート, 7 5 2 3
- (72) 発明者 ヘンカー・デイビッド  
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 1 2 7 サン・ホセ, エンチャント・ビスタ・ドライブ,  
 1 1 4 7 0
- (72) 発明者 ブライト・ニコラス・ジェイ .  
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 1 3 8 サン・ホセ, カントリー・クラブ・パークウェイ,  
 5 9 5 0

F ターム(参考) 2F063 AA16 BA30 BB06 BC06 CA08 DA01 DB07 DD03 DD04 DD05  
 DD06 GA08 LA16  
 2F069 AA46 BB15 CC07 DD30 GG04 GG06 GG11 GG58 GG63 GG64  
 GG65 GG66 HH30 JJ10 NN26  
 4M106 AA01 BA20 CA48 DH03 DH19 DH57 DJ17 DJ39