

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5927083号
(P5927083)

(45) 発行日 平成28年5月25日(2016.5.25)

(24) 登録日 平成28年4月28日(2016.4.28)

(51) Int.Cl.		F I			
B 2 4 B	53/00	(2006.01)	B 2 4 B	53/00	A
B 2 4 B	37/00	(2012.01)	B 2 4 B	37/00	A

請求項の数 16 (全 17 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2012-187383 (P2012-187383)</p> <p>(22) 出願日 平成24年8月28日 (2012. 8. 28)</p> <p>(65) 公開番号 特開2014-42968 (P2014-42968A)</p> <p>(43) 公開日 平成26年3月13日 (2014. 3. 13)</p> <p>審査請求日 平成27年3月11日 (2015. 3. 11)</p>	<p>(73) 特許権者 000000239 株式会社荏原製作所 東京都大田区羽田旭町11番1号</p> <p>(74) 代理人 100091498 弁理士 渡邊 勇</p> <p>(74) 代理人 100093942 弁理士 小杉 良二</p> <p>(74) 代理人 100118500 弁理士 廣澤 哲也</p> <p>(72) 発明者 篠崎 弘行 東京都大田区羽田旭町11番1号 株式会社 荏原製作所内</p> <p>審査官 大山 健</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ドレッシングプロセスの監視方法および研磨装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

研磨パッドを支持する研磨テーブルを回転させ、
 ドレッサーを前記研磨パッドの半径方向に揺動させながら、回転する前記研磨パッドに前記ドレッサーを押し付けて前記研磨パッドをドレッシングし、
 前記研磨パッドのドレッシング中に、前記ドレッサーと前記研磨パッドとの間に働く摩擦力と前記押し付け力との比を示す仕事係数を算出し、
 前記仕事係数に基づいて、前記ドレッサーの残存寿命を決定し、
 前記ドレッサーの残存寿命を T_{end} 、初期仕事係数を Z_0 、使用限界仕事係数を Z_{end} 、単位時間当たりの仕事係数の変化量を dZ/dt とすると、前記ドレッサーの残存寿命は、

$$T_{end} = (Z_0 - Z_{end}) / (dZ / dt)$$

で表されることを特徴とする研磨パッドのドレッシングの監視方法。

【請求項2】

前記仕事係数は、前記研磨テーブルを回転させるテーブルモータのトルクと、前記ドレッサーの前記研磨パッドに対する押し付け力と、前記研磨テーブルの回転中心から前記ドレッサーまでの距離とから算出することを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記仕事係数を Z 、ドレッシング中の前記テーブルモータのトルクを T_t 、前記ドレッサーが前記研磨パッドに接触する前の前記テーブルモータの初期トルクを T_{t0} 、前記押

し付け力を DF 、前記ドレッサーと前記研磨テーブルの中心との距離を S_t とすると、前記仕事係数は、

$$Z = (T_t - T_{t_0}) / (DF * S_t)$$

で表されることを特徴とする請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記仕事係数は、ある時間幅での仕事係数の移動平均であり、

前記単位時間当たりの仕事係数の変化量は、前記仕事係数の移動平均から算出されることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

研磨パッドを支持する研磨テーブルを回転させ、

ドレッサーを前記研磨パッドの半径方向に揺動させながら、回転する前記研磨パッドに前記ドレッサーを押し付けて前記研磨パッドをドレッシングし、

前記研磨パッドのドレッシング中に、前記ドレッサーと前記研磨パッドとの間に働く摩擦力と前記押し付け力との比を示す仕事係数を算出し、

単位時間当たりの前記仕事係数の変化量と所定のしきい値との比較により、前記研磨パッドのドレッシングの異常を検知することを特徴とする研磨パッドのドレッシングの監視方法。

【請求項 6】

前記仕事係数の変化量が前記所定のしきい値を超えたときの前記ドレッサーの位置を、前記研磨パッド上に定義された二次元平面上に表示することを特徴とする請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

前記仕事係数は、前記研磨テーブルを回転させるテーブルモータのトルクと、前記ドレッサーの前記研磨パッドに対する押し付け力と、前記研磨テーブルの回転中心から前記ドレッサーまでの距離とから算出することを特徴とする請求項 5 に記載の方法。

【請求項 8】

前記仕事係数を Z 、ドレッシング中の前記テーブルモータのトルクを T_t 、前記ドレッサーが前記研磨パッドに接触する前の前記テーブルモータの初期トルクを T_{t_0} 、前記押し付け力を DF 、前記ドレッサーと前記研磨テーブルの中心との距離を S_t とすると、前記仕事係数は、

$$Z = (T_t - T_{t_0}) / (DF * S_t)$$

で表されることを特徴とする請求項 7 に記載の方法。

【請求項 9】

研磨パッドを支持する研磨テーブルと、

前記研磨テーブルを回転させるテーブルモータと、

研磨パッドをドレッシングするドレッサーと、

前記ドレッサーを前記研磨パッドの半径方向に揺動させる旋回モータと、

回転する前記研磨パッドに前記ドレッサーを押し付ける押圧機構と、

前記研磨パッドのドレッシングを監視するパッド監視装置とを備え、

前記パッド監視装置は、

前記研磨パッドのドレッシング中に、前記ドレッサーと前記研磨パッドとの間に働く摩擦力と前記押し付け力との比を示す仕事係数を算出し、

前記仕事係数に基づいて、前記ドレッサーの残存寿命を決定し、

前記ドレッサーの残存寿命を T_{end} 、初期仕事係数を Z_0 、使用限界仕事係数を Z_{end} 、単位時間当たりの仕事係数の変化量を dZ/dt とすると、前記ドレッサーの残存寿命は、

$$T_{end} = (Z_0 - Z_{end}) / (dZ/dt)$$

で表されることを特徴とする研磨装置。

【請求項 10】

前記パッド監視装置は、前記テーブルモータのトルクと、前記ドレッサーの前記研磨パ

10

20

30

40

50

ッドに対する押し付け力と、前記研磨テーブルの回転中心から前記ドレッサーまでの距離とから前記仕事係数を算出することを特徴とする請求項 9 に記載の研磨装置。

【請求項 1 1】

前記仕事係数を Z 、ドレッシング中の前記テーブルモータのトルクを T_t 、前記ドレッサーが前記研磨パッドに接触する前の前記テーブルモータの初期トルクを T_{t0} 、前記押し付け力を DF 、前記ドレッサーと前記研磨テーブルの中心との距離を S_t とすると、前記仕事係数は、

$$Z = (T_t - T_{t0}) / (DF * S_t)$$

で表されることを特徴とする請求項 1 0 に記載の研磨装置。

【請求項 1 2】

前記仕事係数は、ある時間幅での仕事係数の移動平均であり、
前記単位時間当たりの仕事係数の変化量は、前記仕事係数の移動平均から算出されることを特徴とする請求項 9 に記載の研磨装置。

【請求項 1 3】

研磨パッドを支持する研磨テーブルと、
前記研磨テーブルを回転させるテーブルモータと、
研磨パッドをドレッシングするドレッサーと、
前記ドレッサーを前記研磨パッドの半径方向に揺動させる旋回モータと、
回転する前記研磨パッドに前記ドレッサーを押し付ける押圧機構と、
前記研磨パッドのドレッシングを監視するパッド監視装置とを備え、
前記パッド監視装置は、

前記研磨パッドのドレッシング中に、前記ドレッサーと前記研磨パッドとの間に働く摩擦力と前記押し付け力との比を示す仕事係数を算出し、

単位時間当たりの前記仕事係数の変化量と所定のしきい値との比較により、前記研磨パッドのドレッシングの異常を検知することを特徴とする研磨装置。

【請求項 1 4】

前記パッド監視装置は、前記仕事係数の変化量が前記所定のしきい値を超えたときの前記ドレッサーの位置を、前記研磨パッド上に定義された二次元平面上に表示することを特徴とする請求項 1 3 に記載の研磨装置。

【請求項 1 5】

前記パッド監視装置は、前記テーブルモータのトルクと、前記ドレッサーの前記研磨パッドに対する押し付け力と、前記研磨テーブルの回転中心から前記ドレッサーまでの距離とから前記仕事係数を算出することを特徴とする請求項 1 3 に記載の研磨装置。

【請求項 1 6】

前記仕事係数を Z 、ドレッシング中の前記テーブルモータのトルクを T_t 、前記ドレッサーが前記研磨パッドに接触する前の前記テーブルモータの初期トルクを T_{t0} 、前記押し付け力を DF 、前記ドレッサーと前記研磨テーブルの中心との距離を S_t とすると、前記仕事係数は、

$$Z = (T_t - T_{t0}) / (DF * S_t)$$

で表されることを特徴とする請求項 1 5 に記載の研磨装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ウェハを研磨する研磨パッドのドレッシングプロセスを監視する方法および研磨装置に関する。

【背景技術】

【0002】

CMP装置に代表される研磨装置は、研磨テーブルに貼り付けられた研磨パッド上に研磨液を供給しながら、研磨パッドと基板の表面とを相対移動させることにより、基板の表面を研磨する。研磨パッドの研磨性能を維持するためには、ドレッサーにより研磨パッド

10

20

30

40

50

の研磨面を定期的にドレッシング（コンディショニングともいう）することが必要とされる。

【0003】

ドレッサーは、ダイヤモンド粒子が全面に固定されたドレッシング面を有している。ドレッサーは着脱可能なドレスディスクを有しており、このドレスディスクの下面がドレッシング面となっている。ドレッサーは、その軸心を中心に回転しながら、研磨パッドの研磨面を押圧し、この状態で研磨面上を移動する。回転するドレッサーは研磨パッドの研磨面を僅かに削り取り、これにより研磨パッドの研磨面が再生される。

【0004】

ドレッサーにより単位時間あたりに削り取られる研磨パッドの量（厚さ）は、カットレートと呼ばれる。このカットレートは、研磨パッドの研磨面の全体において均一であることが望ましい。理想的な研磨面を得るためには、パッドドレッシングのレシピチューニングを行うことが必要とされる。このレシピチューニングでは、ドレッサーの回転速度および移動速度、ドレッサーの研磨パッドに対する荷重（以下、ドレッシング荷重という）などが調整される。

【0005】

ドレッサーによりドレッシングされた研磨パッドの表面状態を評価するためには、研磨パッドを研磨テーブルから剥がしてその厚さを測定する必要がある。さらに、ウェハを実際に研磨しなければ研磨パッドの表面状態は分からない。このため、パッドドレッシングのレシピチューニングには多くの枚数の研磨パッドと時間が費やされている。

【0006】

カットレートやドレッシング荷重などを測定することにより、ドレッシングプロセスを評価する方法もいくつか提案されている。しかしながら、これらの方法は、ドレッシングの結果およびドレッシング荷重から実際のドレッシングプロセスを推定するというものであり、ドレッシングプロセス自体を監視することはできなかった。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2006-255851号公報

【特許文献2】特開2008-207320号公報

【特許文献3】特開2009-148877号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

そこで、本発明は、研磨パッドへのドレッサーの仕事を数値化し、パッドドレッシング（パッドコンディショニング）を研磨パッドのドレッシング中に監視することができる方法および研磨装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上述した目的を達成するために、本発明の一態様は、研磨パッドを支持する研磨テーブルを回転させ、ドレッサーを前記研磨パッドの半径方向に揺動させながら、回転する前記研磨パッドに前記ドレッサーを押し付けて前記研磨パッドをドレッシングし、前記研磨パッドのドレッシング中に、前記ドレッサーと前記研磨パッドとの間に働く摩擦力と前記押し付け力との比を示す仕事係数を算出し、前記仕事係数に基づいて、前記ドレッサーの残存寿命を決定し、前記ドレッサーの残存寿命を T_{end} 、初期仕事係数を Z_0 、使用限界仕事係数を Z_{end} 、単位時間当たりの仕事係数の変化量を dZ/dt とすると、前記ドレッサーの残存寿命は、 $T_{end} = (Z_0 - Z_{end}) / (dZ/dt)$ で表されることを特徴とする研磨パッドのドレッシングの監視方法である。

【0010】

本発明の好ましい態様は、前記仕事係数は、前記研磨テーブルを回転させるテーブルモ

10

20

30

40

50

ータのトルクと、前記ドレッサーの前記研磨パッドに対する押し付け力と、前記研磨テーブルの回転中心から前記ドレッサーまでの距離とから算出することを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記仕事係数を Z 、ドレッシング中の前記テーブルモータのトルクを T_t 、前記ドレッサーが前記研磨パッドに接触する前の前記テーブルモータの初期トルクを T_{t0} 、前記押し付け力を DF 、前記ドレッサーと前記研磨テーブルの中心との距離を S_t とすると、前記仕事係数は、 $Z = (T_t - T_{t0}) / (DF * S_t)$ で表されることを特徴とする。

【0011】

本発明の好ましい態様は、前記仕事係数は、ある時間幅での仕事係数の移動平均であり、前記単位時間当たりの仕事係数の変化量は、前記仕事係数の移動平均から算出されることを特徴とする。

10

本発明の他の態様は、研磨パッドを支持する研磨テーブルを回転させ、ドレッサーを前記研磨パッドの半径方向に揺動させながら、回転する前記研磨パッドに前記ドレッサーを押し付けて前記研磨パッドをドレッシングし、前記研磨パッドのドレッシング中に、前記ドレッサーと前記研磨パッドとの間に働く摩擦力と前記押し付け力との比を示す仕事係数を算出し、単位時間当たりの前記仕事係数の変化量と所定のしきい値との比較により、前記研磨パッドのドレッシングの異常を検知することを特徴とする研磨パッドのドレッシングの監視方法である。

本発明の好ましい態様は、前記仕事係数の変化量が前記所定のしきい値を超えたときの前記ドレッサーの位置を、前記研磨パッド上に定義された二次元平面上に表示することを特徴とする。

20

本発明の好ましい態様は、前記仕事係数は、前記研磨テーブルを回転させるテーブルモータのトルクと、前記ドレッサーの前記研磨パッドに対する押し付け力と、前記研磨テーブルの回転中心から前記ドレッサーまでの距離とから算出することを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記仕事係数を Z 、ドレッシング中の前記テーブルモータのトルクを T_t 、前記ドレッサーが前記研磨パッドに接触する前の前記テーブルモータの初期トルクを T_{t0} 、前記押し付け力を DF 、前記ドレッサーと前記研磨テーブルの中心との距離を S_t とすると、前記仕事係数は、 $Z = (T_t - T_{t0}) / (DF * S_t)$ で表されることを特徴とする。

本発明の好ましい参考例は、前記仕事係数と所定のしきい値との比較により、前記研磨パッドのドレッシングの異常を検知することを特徴とする。

30

本発明の好ましい参考例は、前記仕事係数が所定のしきい値を超えたときの前記ドレッサーの位置を、前記研磨パッド上に定義された二次元平面上に表示することを特徴とする。

【0012】

本発明の他の態様は、研磨パッドを支持する研磨テーブルと、前記研磨テーブルを回転させるテーブルモータと、研磨パッドをドレッシングするドレッサーと、前記ドレッサーを前記研磨パッドの半径方向に揺動させる旋回モータと、回転する前記研磨パッドに前記ドレッサーを押し付ける押圧機構と、前記研磨パッドのドレッシングを監視するパッド監視装置とを備え、前記パッド監視装置は、前記研磨パッドのドレッシング中に、前記ドレッサーと前記研磨パッドとの間に働く摩擦力と前記押し付け力との比を示す仕事係数を算出し、前記仕事係数に基づいて、前記ドレッサーの残存寿命を決定し、前記ドレッサーの残存寿命を T_{end} 、初期仕事係数を Z_0 、使用限界仕事係数を Z_{end} 、単位時間当たりの仕事係数の変化量を dZ/dt とすると、前記ドレッサーの残存寿命は、 $T_{end} = (Z_0 - Z_{end}) / (dZ/dt)$ で表されることを特徴とする研磨装置である。

40

【0013】

本発明の好ましい態様は、前記パッド監視装置は、前記テーブルモータのトルクと、前記ドレッサーの前記研磨パッドに対する押し付け力と、前記研磨テーブルの回転中心から前記ドレッサーまでの距離とから前記仕事係数を算出することを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記仕事係数を Z 、ドレッシング中の前記テーブルモータの

50

トルクを T_t 、前記ドレッサーが前記研磨パッドに接触する前の前記テーブルモータの初期トルクを T_{t0} 、前記押し付け力を DF 、前記ドレッサーと前記研磨テーブルの中心との距離を S_t とすると、前記仕事係数は、 $Z = (T_t - T_{t0}) / (DF * S_t)$ で表されることを特徴とする。

【0014】

本発明の好ましい態様は、前記仕事係数は、ある時間幅での仕事係数の移動平均であり、前記単位時間当たりの仕事係数の変化量は、前記仕事係数の移動平均から算出されることを特徴とする。

本発明のさらに他の態様は、研磨パッドを支持する研磨テーブルと、前記研磨テーブルを回転させるテーブルモータと、研磨パッドをドレッシングするドレッサーと、前記ドレッサーを前記研磨パッドの半径方向に揺動させる旋回モータと、回転する前記研磨パッドに前記ドレッサーを押し付ける押圧機構と、前記研磨パッドのドレッシングを監視するパッド監視装置とを備え、前記パッド監視装置は、前記研磨パッドのドレッシング中に、前記ドレッサーと前記研磨パッドとの間に働く摩擦力と前記押し付け力との比を示す仕事係数を算出し、単位時間当たりの前記仕事係数の変化量と所定のしきい値との比較により、前記研磨パッドのドレッシングの異常を検知することを特徴とする研磨装置である。

本発明の好ましい態様は、前記パッド監視装置は、前記仕事係数の変化量が前記所定のしきい値を超えたときの前記ドレッサーの位置を、前記研磨パッド上に定義された二次元平面上に表示することを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記パッド監視装置は、前記テーブルモータのトルクと、前記ドレッサーの前記研磨パッドに対する押し付け力と、前記研磨テーブルの回転中心から前記ドレッサーまでの距離とから前記仕事係数を算出することを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記仕事係数を Z 、ドレッシング中の前記テーブルモータのトルクを T_t 、前記ドレッサーが前記研磨パッドに接触する前の前記テーブルモータの初期トルクを T_{t0} 、前記押し付け力を DF 、前記ドレッサーと前記研磨テーブルの中心との距離を S_t とすると、前記仕事係数は、 $Z = (T_t - T_{t0}) / (DF * S_t)$ で表されることを特徴とする。

本発明の好ましい参考例は、前記パッド監視装置は、前記仕事係数と所定のしきい値との比較により、前記研磨パッドのドレッシングの異常を検知することを特徴とする。

本発明の好ましい参考例は、前記パッド監視装置は、前記仕事係数が所定のしきい値を超えたときの前記ドレッサーの位置を、前記研磨パッド上に定義された二次元平面上に表示することを特徴とする。

【発明の効果】

【0015】

本発明によれば、研磨パッドへのドレッサーの仕事がドレッシング中に仕事係数として数値化される。したがって、仕事係数から研磨パッドのドレッシングプロセスを監視し、評価することができる。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】ウェハなどの基板を研磨する研磨装置を示す模式図である。

【図2】研磨パッドとドレッサーを模式的に示す平面図である。

【図3】研磨パッドをドレッシングしているときのドレッサーに作用する力を説明するためのドレッサーを示す模式図である。

【図4】研磨パッドが速度 V で移動しているときに、ドレッサーから研磨パッドに作用する下向きの力の分布を示す模式図である。

【図5】ドレッシング面上に分布する不均一な力が研磨パッド上の一点に集中すると仮定したときに、ドレッサーに作用する力のモーメントを説明するための図である。

【図6】研磨パッドのドレッシング中に取得された各種データを示す図である。

【図7】研磨パッドとドレッサーを模式的に示す平面図である。

【図8】仕事係数分布を示す図である。

【図9】X-Y回転座標系上に定義された複数の領域を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0017】

以下、本発明の実施形態について図面を参照して詳細に説明する。

図1は、ウェハなどの基板を研磨する研磨装置を示す模式図である。図1に示すように、研磨装置は、研磨パッド22を支持する研磨テーブル12と、研磨パッド22上に研磨液を供給する研磨液供給ノズル5と、ウェハWを研磨するための研磨ユニット1と、ウェハWの研磨に使用される研磨パッド22をドレッシング(コンディショニング)するドレッシングユニット2とを備えている。研磨ユニット1およびドレッシングユニット2は、ベース3上に設置されている。

10

【0018】

研磨ユニット1は、トップリングシャフト18の下端に連結されたトップリング20を備えている。トップリング20は、その下面にウェハWを真空吸着により保持するように構成されている。トップリングシャフト18は、図示しないモータの駆動により回転し、このトップリングシャフト18の回転により、トップリング20およびウェハWが回転する。トップリングシャフト18は、図示しない上下動機構(例えば、サーボモータおよびボールねじなどから構成される)により研磨パッド22に対して上下動するようになっている。

【0019】

研磨テーブル12は、その下方に配置されるテーブルモータ13に連結されている。研磨テーブル12は、その軸心まわりにテーブルモータ13によって回転される。研磨テーブル12の上面には研磨パッド22が貼付されており、研磨パッド22の上面がウェハWを研磨する研磨面22aを構成している。

20

【0020】

研磨装置は、テーブルモータ13に電流を供給するモータドライバ15と、テーブルモータ13に供給される電流を測定するモータ電流測定器14と、ドレッサーによる研磨パッド22のドレッシングを監視するパッド監視装置60とをさらに備えている。モータ電流測定器14はパッド監視装置60に接続されており、電流の測定値はパッド監視装置60に送られるようになっている。

【0021】

テーブルモータ13は、研磨テーブル12を予め設定された一定の速度で回転させるように制御される。したがって、ドレッサー50と研磨パッド22との間に作用する摩擦力が変化すると、テーブルモータ13に流れる電流、すなわちトルク電流が変化する。より具体的には、摩擦力が大きくなると、研磨テーブル12により大きなトルクを与えるためにトルク電流が増え、摩擦力が小さくなると、研磨テーブル12に与えるトルクを小さくするためにトルク電流が下がる。したがって、テーブルモータ13に供給される電流の値から、ドレッサー50と研磨パッド22との間に発生している摩擦力を推定することができる。

30

【0022】

ウェハWの研磨は次のようにして行われる。トップリング20および研磨テーブル12をそれぞれ回転させ、研磨パッド22上に研磨液を供給する。この状態で、ウェハWを保持したトップリング20を下降させ、ウェハWを研磨パッド22の研磨面22aに押し付ける。ウェハWと研磨パッド22とは研磨液の存在下で互いに摺接され、これによりウェハWの表面が研磨され、平坦化される。

40

【0023】

ドレッシングユニット2は、研磨パッド22の研磨面22aに接触するドレッサー50と、ドレッサー50に連結されたドレッサーシャフト51と、ドレッサーシャフト51の上端に設けられたエアシリンダ53と、ドレッサーシャフト51を回転自在に支持するドレッサーアーム55とを備えている。ドレッサー50の下部はドレスディスク50aにより構成され、このドレスディスク50aの下面にはダイヤモンド粒子が固定されている。

50

【 0 0 2 4 】

ドレッサーシャフト51およびドレッサー50は、ドレッサーアーム55に対して上下動可能となっている。エアシリンダ53は、研磨パッド22へのドレッシング荷重をドレッサー50に付与する押圧機構である。ドレッシング荷重は、エアシリンダ53に供給される気体の圧力により調整することができる。エアシリンダ53に供給される気体の圧力は、圧力センサ16によって測定される。ドレッサーシャフト51には、ドレッシング荷重を測定するロードセル(荷重測定器)17が組み込まれている。ドレッシング荷重はロードセル17によって測定することも可能であるが、圧力センサ16によって測定される気体圧とエアシリンダ53の受圧面積とから計算により求めることも可能である。

【 0 0 2 5 】

ドレッサーアーム55は旋回モータ56に駆動されて、支軸58を中心として旋回するように構成されている。ドレッサーシャフト51は、ドレッサーアーム55内に設置された図示しないモータにより回転し、このドレッサーシャフト51の回転により、ドレッサー50がその軸心まわりに回転する。エアシリンダ53は、ドレッサーシャフト51を介してドレッサー50を所定の荷重で研磨パッド22の研磨面22aに押圧する。

【 0 0 2 6 】

研磨パッド22の研磨面22aのドレッシングは次のようにして行われる。研磨テーブル12および研磨パッド22をテーブルモータ13により回転させ、図示しないドレッシング液供給ノズルからドレッシング液(例えば、純水)を研磨パッド22の研磨面22aに供給する。さらに、ドレッサー50をその軸心まわりに回転させる。ドレッサー50はエアシリンダ53により研磨面22aに押圧され、ドレディスク50aの下面を研磨面22aに摺接させる。この状態で、ドレッサーアーム55を旋回させ、研磨パッド22上のドレッサー50を研磨パッド22の略半径方向に揺動させる。研磨パッド22は、回転するドレッサー50により削り取られ、これにより研磨面22aのドレッシングが行われる。

【 0 0 2 7 】

研磨装置は、研磨テーブル12および研磨パッド22の回転角度を測定するテーブルロータリエンコーダ31と、ドレッサー50の旋回角度を測定するドレッサーロータリエンコーダ32とを備えている。これらテーブルロータリエンコーダ31およびドレッサーロータリエンコーダ32は、角度の絶対値を測定するアブソリュートエンコーダである。

【 0 0 2 8 】

図2は、研磨パッド22とドレッサー50を模式的に示す平面図である。研磨テーブル12およびその上の研磨パッド22は原点Oを中心として回転する。ドレッサーアーム55は所定の点Cを中心として所定の角度だけ回転し(すなわち、旋回し)、ドレッサー50は研磨パッド22の半径方向に揺動する。この点Cの位置は図1に示す支軸58の中心位置に相当する。点Cを中心とするドレッサーアーム55の旋回角度はドレッサーロータリエンコーダ32により計測される。

【 0 0 2 9 】

ドレッサー50と旋回中心点Cとの距離Lは、研磨装置の設計から定まる既知の値である。ドレッサー50の中心の位置は、点Cの位置と、距離Lと、角度 θ とから決定することができる。テーブルロータリエンコーダ31およびドレッサーロータリエンコーダ32はパッド監視装置60に接続されており、研磨テーブル12の回転角度 θ の測定値およびドレッサー50(ドレッサーアーム55)の旋回角度 ϕ の測定値はパッド監視装置60に送られるようになっている。パッド監視装置60には、上述したドレッサー50と点Cとの距離Lおよび研磨テーブル12に対する支軸58の相対位置が予め記憶されている。符号Stは、ドレッサー50の研磨テーブル12の中心からの距離であり、ドレッサー50の揺動にしたがって変わる。

【 0 0 3 0 】

図3は、研磨パッド22をドレッシングしているときのドレッサー50に作用する力を説明するためのドレッサー50を示す模式図である。図3に示すように、ドレッサー50

10

20

30

40

50

は、自在軸受 5 2 により傾動自在にドレッサーシャフト 5 1 に連結されている。この自在軸受 5 2 としては、球面軸受、板ばねなどが使用される。研磨パッド 2 2 のドレッシング中、ドレッサーシャフト 5 1 はドレッサー 5 0 に下向きの力 $D F$ を与える。回転する研磨テーブル 1 2 上の研磨パッド 2 2 の表面は、ドレッサー 5 0 に対して速度 V で移動する。この研磨パッド 2 2 の移動によりドレッサー 5 0 には水平方向の力 $F x$ が作用する。この力 $F x$ は、ドレッサー 5 0 が研磨パッド 2 2 の表面を削り取るときにドレッサー 5 0 の下面（以下、ドレッシング面という）と研磨パッド 2 2 の表面 2 2 a との間に生じる摩擦力に相当する。

【 0 0 3 1 】

図 4 は、研磨パッド 2 2 が速度 V で移動しているときに、ドレッサー 5 0 から研磨パッド 2 2 に作用する下向きの力の分布を示す模式図である。研磨パッド 2 2 はドレッサー 5 0 に対して相対的に速度 V で移動しているために、下向きの力 $D F$ は研磨パッド 2 2 の表面に対して不均一に作用する。結果として、ドレッサー 5 0 には、自在軸受 5 2 まわりにドレッサー 5 0 を反時計方向に回転させる反力が作用する。ドレッシング面上に分布する不均一な力が、図 5 に示すように研磨パッド 2 2 上の一点に集中すると仮定すると、自在軸受 5 2 まわりの反時計方向の力のモーメント $M +$ は次の式で表される。

$$M + = Q * R * D F \quad (1)$$

ここで、 R はドレッシング面の半径であり、 Q はドレッシング面上に分布する不均一な力が研磨パッド 2 2 上の一点に集中すると仮定したときの力の作用点とドレッシング面の中心との距離を半径 R を用いて表すための変換係数である。変換係数 Q は、1 よりも小さい数値である。

【 0 0 3 2 】

自在軸受 5 2 まわりの時計方向の力のモーメント $M -$ は次の式で表される。

$$M - = F x * h \quad (2)$$

ここで、 h はドレッサー 5 0 のドレッシング面と自在軸受 5 2 との距離である。

水平方向の力 $F x$ は、ドレッサー 5 0 と研磨パッド 2 2 との摩擦力に相当する。したがって、水平方向の力 $F x$ と下向きの力 $D F$ との間には、基本的に相関関係がある。水平方向の力 $F x$ と下向きの力 $D F$ との関係は、係数 Z を用いて次の式で表される。

$$F x = Z * D F \quad (3)$$

以下、本明細書では、係数 Z を仕事係数と称する。

【 0 0 3 3 】

自在軸受 5 2 まわりの力のモーメント M は、

$$\begin{aligned} M &= M + - M - \\ &= Q * R * D F - h * Z * D F \\ &= (Q * R - h * Z) * D F \end{aligned} \quad (4)$$

となる。

【 0 0 3 4 】

時計方向の力のモーメント $M -$ が反時計方向の力のモーメント $M +$ よりも大きいと、ドレッサー 5 0 は研磨パッド 2 2 に引っ掛かり（つまずき）、ドレッサー 5 0 の姿勢が不安定となる。したがって、自在軸受 5 2 まわりのドレッサー 5 0 の傾き運動の安定条件は、上記式（ 4 ）の括弧内の値が正の値であることである。具体的には、安定条件は次の通りである。

$$Q * R - h * Z > 0 \quad (5)$$

Q は予め決定された変換係数である。 R および h はドレッサー 5 0 の寸法から一意に決定される固定値である。したがって、仕事係数 Z を研磨中に取得することにより、ドレッシングプロセスの安定性を監視することができる。

【 0 0 3 5 】

次に、仕事係数 Z を取得する方法について説明する。水平方向の力 $F x$ は、研磨テーブル 1 2 を回転させるテーブルモータ 1 3 のトルクと、ドレッサー 5 0 の研磨テーブル 1 2 の中心からの距離 $S t$ （図 2 参照）から、次のように算出することができる。

$$F_x = (T_t - T_{t_0}) / S_t \quad (6)$$

ここで、 T_t はドレッシング中のテーブルモータ13のトルクであり、 T_{t_0} はドレッサー50を研磨パッド22に接触させる前のテーブルモータ13の初期トルクである。

【0036】

テーブルモータ13のトルクは、テーブルモータ13に供給される電流に比例する。したがって、トルク T_t 、 T_{t_0} は、電流とトルク定数[Nm/A]とを掛けることにより求めることができる。トルク定数はテーブルモータ13に固有の定数であり、そのテーブルモータ13の仕様データから取得することができる。モータドライバ15からテーブルモータ13に供給される電流は、モータ電流測定器14により計測することができる。

【0037】

ドレッシング中のドレッサー50は、研磨テーブル12の半径方向に揺動する。したがって、ドレッサー50と研磨テーブル12の中心との距離 S_t は、ドレッシング時間とともに周期的に変動する。距離 S_t は、ドレッサー50の旋回中心点Cと研磨テーブル12の中心Oとの相対位置、ドレッサー50と点Cとの距離 L 、ドレッサーアーム55の旋回角度などから計算することができる。

【0038】

仕事係数 Z は、上記式(3)および式(6)から次のように与えられる。

$$Z = F_x / DF \\ = (T_t - T_{t_0}) / (DF * S_t) \quad (7)$$

上記式(7)から分かるように、仕事係数 Z は、ドレッサー50から研磨パッド22に作用する、研磨パッド22の表面22aと平行な力 F_x と、ドレッサー50から研磨パッド22に作用する、研磨パッド22の表面22aに対して垂直に作用する力 DF との比である。

【0039】

パッド監視装置60は、ドレッシング中のテーブルモータ13のトルク T_t と、テーブルモータ13の初期トルク T_{t_0} と、ドレッサー50に作用する下向きの力 DF と、ドレッサー50と研磨テーブル12の中心との距離 S_t とから、仕事係数 Z を上記式(7)を用いて算出する。下向きの力 DF は、ドレッサーシャフト51に組み込まれたロードセル17により測定することができる。これに代えて、エアシリンダ53内の気体の圧力値にエアシリンダ53のピストンの受圧面積を掛けることにより下向きの力 DF を算出してもよい。

【0040】

ドレッシング面の半径 R を $k * h$ (k は例えば2~10)、変換係数 Q を0.5と仮定すると、式(5)から、仕事係数 Z が0.5 k よりも大きいときにドレッサー50が不安定になることが分かる。パッド監視装置60は、研磨パッド22のドレッシング中に仕事係数 Z を算出し、この仕事係数 Z に基づいてドレッシングが正常に行われているか否かを監視する。

【0041】

図6は、研磨パッド22のドレッシング中に取得された各種データを示す図である。図6の左側の縦軸は、ドレッサー50の研磨テーブル12の中心からの距離 S_t [mm]、下向きの力 DF [N]、水平方向の力 F_x [N]、トルク差分 $T_t - T_{t_0}$ [Nm]を表し、右側の縦軸は仕事係数 Z を表し、横軸はドレッシング時間を表している。ドレッサー50の研磨テーブル12の半径方向の揺動は、ドレッサー50の研磨テーブル12の中心からの距離 S_t によって最もよく示されている。このドレッサー50の揺動に同期して、仕事係数 Z が変化していることが図6から分かる。より具体的には、ドレッサー50が研磨パッド22(研磨テーブル12)のエッジ部から中心部に移動するに従って仕事係数 Z および水平方向の力 F_x が大きくなり、ドレッサー50が研磨パッド22の中心部に位置しているときに、仕事係数 Z および水平方向の力 F_x が最も大きくなる。これは、研磨パッド22のエッジ部から中心部に向かって移動しているドレッサー50のベクトルは、研磨テーブル12の回転方向と反対の方向の成分を持つためである。図6に示されるように

10

20

30

40

50

、仕事係数 Z は、ドレッシング中に変化する変数である。

【 0 0 4 2 】

図 6 に示すように、ドレッシング総時間を通じた水平方向の力 F_x の平均は、概ね下向きの力 $D F$ と同じとなっている。ドレッサー 50 が研磨パッド 22 上を滑っている場合、すなわちドレッサー 50 が研磨パッド 22 を削り取っていない場合、仕事係数 Z は 0 となる。図 6 に示す例では、仕事係数 Z は概ね 1 を示し、その最大値は研磨テーブル 12 の中心での 1.7 である。このことは、ドレッサー 50 は研磨パッド 22 上を滑っていない、すなわち研磨パッド 22 を削り取っていることを示している。仕事係数 Z が大きいドレッシングプロセスは、ドレッサー 50 が研磨パッド 22 を大きく削り取っているプロセスであり、この場合は、ドレッサー 50 の残存寿命が短くなると予想される。

10

【 0 0 4 3 】

パッド監視装置 60 は、仕事係数 Z が予め定められた範囲内にはない場合には、ドレッシングが正しく行われていないと判断することができる。好ましくは、パッド監視装置 60 は、1 回または複数回のドレッシング工程での仕事係数 Z の平均が予め定められた範囲内にはない場合には、ドレッシングが正しく行われていないと判断してもよい。

【 0 0 4 4 】

水平方向の力 F_x とドレッサー 50 の研磨パッド 22 の周方向の移動距離 S との積は、ドレッサー 50 の仕事量 $W [J]$ を表す。移動距離 S は、研磨テーブル 12 (研磨パッド 22) の中心からのドレッサー 50 の距離と、研磨テーブル 12 の回転速度とから算出することができる。

20

$$W = F_x * S [J] \quad (8)$$

さらに、水平方向の力 F_x とドレッサー 50 の研磨パッド 22 の周方向の単位時間当たりの移動距離 $d S / d t$ との積は、ドレッサー 50 の仕事率 $P [J / s]$ を表す。

$$P = F_x * (d S / d t) [J / s] \quad (9)$$

ドレッサー 50 の仕事量 $W [J]$ および仕事率 $P [J / s]$ は、どちらも、消耗品であるドレッサー 50 の残存寿命の予測に好適な指標となる。

【 0 0 4 5 】

次に、消耗品であるドレッサー 50 の残存寿命を予測する方法について説明する。ドレッサー 50 の許容総仕事量を $W_0 [J]$ 、ドレッサー 50 の仕事量の累積値を $W_1 [J]$ 、単位時間当たりの仕事量 (すなわち仕事率) を $P [J / s]$ とすると、ドレッサー 50 の残存寿命 T_{end} は次の式から求めることができる。

30

$$T_{end} [s] = (W_0 - W_1) / P \quad (10)$$

仕事率 P は、単位時間当たりの最新の仕事量である。この仕事率 P は、ある時間幅での移動平均であってもよい。

【 0 0 4 6 】

式 (3) から分かるように、仕事係数 Z が 0 であるとき、下向きの力 $D F$ が研磨パッド 22 に作用しているにもかかわらず、水平方向の力 F_x は 0 である。これは、ドレッサー 50 が研磨パッド 22 を削り取っていないことを意味する。ドレッサー 50 の砥粒が長時間の使用により摩耗してくると、ドレッサー 50 は研磨パッド 22 を削り取る能力を失っていく。したがって、仕事係数 Z から、ドレッサー 50 の交換時期を決定することが可能である。

40

【 0 0 4 7 】

次に、仕事係数 Z を用いてドレッサー 50 の残存寿命を予測する方法について説明する。初期仕事係数を Z_0 、使用限界仕事係数を Z_{end} 、単位時間当たりの仕事係数の変化量を $d Z / d t$ とすると、ドレッサー 50 の残存寿命 T_{end} は次の式から求めることができる。

$$T_{end} [s] = (Z_0 - Z_{end}) / (d Z / d t) \quad (11)$$

この場合も、仕事係数 Z は、ある時間幅での移動平均であってもよく、単位時間当たりの仕事係数の変化量 $d Z / d t$ は、仕事係数 Z の移動平均から算出してもよい。

【 0 0 4 8 】

50

仕事係数 Z および単位時間当たりの仕事係数の変化量 dZ/dt は、ドレッシング異常の検知に用いることができる。例えば、パッド監視装置60は、仕事係数 Z および/または変化量 dZ/dt が所定のしきい値に達したときは、ドレッシングプロセスの異常が発生したと判断するようにしてもよい。また、パッド監視装置60は、仕事係数 Z またはそのドレッシング工程を通じた平均が使用限界仕事係数 Z_{end} に達したときは、ドレッサー50の交換時期に達した、またはドレッサー50が故障したと判断するようにしてもよい。さらに、パッド監視装置60は、算出したドレッサー50の残存寿命が所定のしきい値に達したときには、ドレッサー50の交換を促す信号を発するようにしてもよい。

【0049】

このように、パッド監視装置60は、ドレッシング中に取得される仕事係数 Z に基づいて、ドレッシングプロセスを監視し、さらにドレッサー50の残存寿命を監視することができる。さらに、仕事係数 Z を用いたドレッシングプロセスの評価に基づいて、最適なドレッシングレシピを作成することが可能となる。

10

【0050】

パッド監視装置60は、ドレッシング時間全体を通じて仕事係数 Z を算出し、ドレッシング中の各時点に対応する仕事係数 Z を決定する。仕事係数 Z が決定されたときのドレッサー50の研磨パッド22上の位置は、研磨装置の寸法およびドレッサー50の動作パラメータから特定することが可能である。したがって、決定された仕事係数 Z と特定された研磨パッド22上のドレッサー50の位置から、研磨パッド22上の仕事係数 Z の分布図を作成する事が可能である。

20

【0051】

パッド監視装置60は、次のようにして研磨パッド22上の仕事係数 Z の分布図を作成する。図7は、研磨パッド22とドレッサー50を模式的に示す平面図である。図7において、 $x-y$ 座標系はベース3(図1参照)上に定義された固定座標系であり、 $X-Y$ 座標系は研磨パッド22の研磨面22a上に定義された回転座標系である。図7に示すように、研磨テーブル12およびその上の研磨パッド22は $x-y$ 固定座標系の原点 O を中心として回転する。一方、ドレッサー50は $x-y$ 固定座標系上の所定の点 C を中心として所定の角度だけ旋回する。

【0052】

研磨テーブル12と支軸58の相対位置は固定であるから、 $x-y$ 固定座標系上の点 C の座標は必然的に決定される。点 C を中心とするドレッサー50の旋回角度 θ は、ドレッサーアーム55の旋回角度であり、この旋回角度 θ はドレッサー50ロータリエンコーダ32により計測される。研磨パッド22(研磨テーブル12)の回転角度 ϕ は、 $x-y$ 固定座標系の座標軸と $X-Y$ 回転座標系の座標軸とがなす角度であり、この回転角度 ϕ はテーブルロータリエンコーダ31により計測される。

30

【0053】

$x-y$ 固定座標系上のドレッサー50の中心の座標は、点 C の座標と、距離 L と、角度 θ とから決定することができる。さらに、 $X-Y$ 回転座標系上のドレッサー50の中心の座標は、 $x-y$ 固定座標系上のドレッサー50の中心の座標と、研磨パッド22の回転角度 ϕ とから決定することができる。固定座標系上の座標から回転座標系上の座標への変換は、公知の三角関数と四則演算を用いて行うことができる。

40

【0054】

パッド監視装置60は、回転角度 ϕ および旋回角度 θ から上述のようにして $X-Y$ 回転座標系上のドレッサー50の中心の座標を算出する。 $X-Y$ 回転座標系は、研磨面22a上に定義された二次元平面である。すなわち、 $X-Y$ 回転座標系上のドレッサー50の座標は、研磨面22aに対するドレッサー50の相対位置を示す。このように、ドレッサー50の位置は、研磨面22aに定義された二次元平面上の位置として表される。

【0055】

パッド監視装置60は、仕事係数 Z を計算により取得するたびに、その仕事係数 Z を取得した $X-Y$ 回転座標系上の座標を特定する。この座標は、取得した仕事係数 Z に対応す

50

るドレッサー 50 の位置を示している。さらに、パッド監視装置 60 は、仕事係数 Z を対応する $X - Y$ 回転座標系上の座標と関連付ける。各仕事係数および関連付けられた座標は、パッド監視装置 60 に記憶される。

【0056】

ドレッサー 50 のエッジ部が研磨パッド 22 の研磨面 22 a に引っ掛かると、研磨パッド 22 がドレッサー 50 により局所的に削られてしまい、研磨面 22 a の平坦度が失われてしまう。仕事係数 Z が大きくなると、ドレッサー 50 は研磨パッド 22 に引っ掛かりやすくなるのが式 (5) から分かる。そこで、パッド監視装置 60 は、算出された仕事係数 Z に基づいて、研磨面 22 a が平坦であるか否か、すなわち研磨パッド 22 のドレッシングが正しく行われているか否かを監視する。すなわち、パッド監視装置 60 は、所定のしきい値を超えた仕事係数 Z を異常点として、研磨パッド 22 上に定義された $X - Y$ 回転座標系上にプロット (表示) し、図 8 に示すような仕事係数分布を生成する。

10

【0057】

パッド監視装置 60 は、二次元平面上に表示された異常点の密度を計算する機能をさらに備えている。パッド監視装置 60 は、二次元平面内の複数の領域内において異常点密度を計算し、各領域において異常点密度が所定の値を超えたか否かを決定する。この領域は、研磨面 22 a 上の $X - Y$ 回転座標系上に予め定義された格子状の領域である。

【0058】

図 9 は、 $X - Y$ 回転座標系上に定義された複数の領域を示す図である。異常点の密度は、各領域 90 での異常点の数を領域 90 の面積で割ることにより求めることができる。図 9 の符号 90' は、異常点の密度が所定の値に達した領域を示している。図 9 に示すように、異常点の密度が所定の値に達した領域に色を付けることが好ましい。パッド監視装置 60 は、少なくとも 1 つの領域 90 において異常点の密度が所定の値を超えたときには、研磨パッド 22 のドレッシングが正常に行われていないことを示す信号を出力する。

20

【0059】

このように、仕事係数 Z の異常点を二次元平面上に表すことができるので、研磨面 22 a の平坦度が失われる前に、研磨パッド 22 を新たな研磨パッドに交換することができる。したがって、製品の歩留まりの低下を未然に防ぐことができる。さらに、研磨パッド 22 のドレッシングが正常に行われているか否かを、研磨パッド 22 のドレッシング中に知ることができる。異常点の発生を視覚的に認識しやすくするために、異常点の密度を色の濃淡で表すことが好ましい。仕事係数 Z に代えて、単位時間あたりの仕事係数 Z の変化量 dZ/dt の異常点を二次元平面上に表すことも可能である。

30

【0060】

これまで本発明の実施形態について説明したが、本発明は上述の実施形態に限定されず、その技術的思想の範囲内において種々異なる形態にて実施されてよいことは言うまでもない。

【符号の説明】

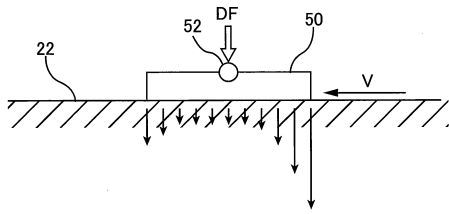
【0061】

- 1 研磨ユニット
- 2 ドレッシングユニット
- 3 ベース
- 5 研磨液供給ノズル
- 12 研磨テーブル
- 13 テーブルモータ
- 14 モータ電流測定器
- 15 モータドライバ
- 16 圧力センサ
- 17 ロードセル
- 20 トップリング
- 22 研磨パッド

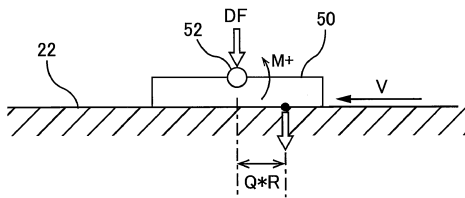
40

50

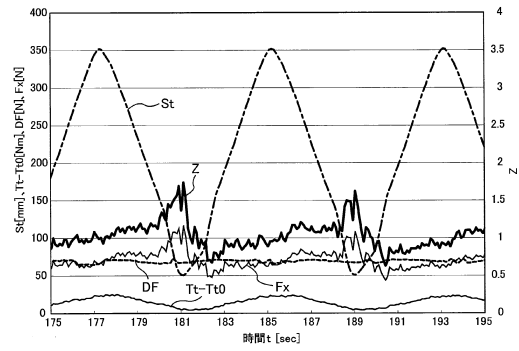
【 図 4 】



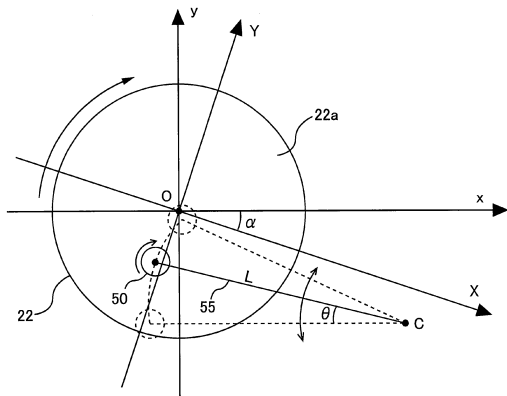
【 図 5 】



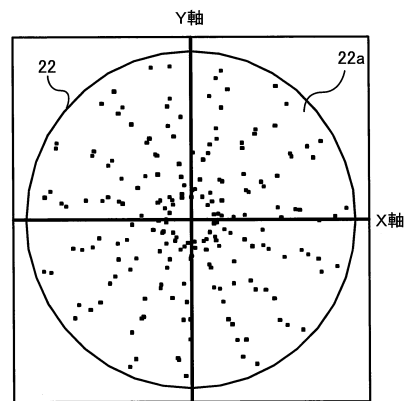
【 図 6 】



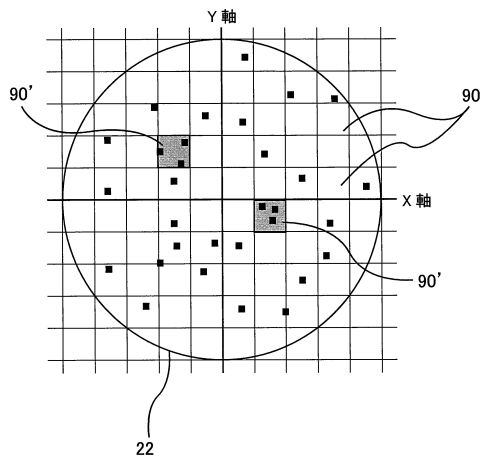
【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】



フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第2011/139501(WO, A1)
特表2011-530809(JP, A)
特開平11-138418(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B24B 53/00, 53/02
B24B 37/00
H01L 21/304