

明 細 書

発明の名称：

基板処理装置、半導体装置の製造方法、及び予兆検知プログラム

技術分野

[0001] 本開示は、基板処理装置、半導体装置の製造方法、及び予兆検知プログラムに関する。

背景技術

[0002] 一般的に、ウエハ等の基板に薄膜を形成して半導体装置を製造する基板処理装置は、処理室を真空排気する真空ポンプや、反応性ガス等の流量を制御するマスフローコントローラ、開閉バルブ、圧力計、処理室を加熱するヒータ、及び基板を搬送する搬送機構等、様々な部材で構成されている。

[0003] この様々な部材のそれぞれは、使用するにつれて徐々に劣化して故障するため、新しい部材への交換が必要となる。交換の仕方としては、部材を故障するまで使用するか、もしくは部材毎に定期的な交換周期を決めて、故障する前に余裕をもって交換するか、のいずれかの方式で運用されることがある。ここで、部材を故障するまで使用する場合、故障時に基板処理装置によって処理していた基板が全て不良品となり、その基板、及び故障時の生産時間が損失となることがある。また、故障する前に定期的に交換する場合は、故障に至らない期間、すなわち短期間毎に交換する必要があるため、部材の交換頻度が多くなり、運用コストの増加につながることもある。

[0004] また、特許文献1または特許文献2のように、これら部材の保守に関する種々の技術が提案されているが、依然として部材の異常を予め検知することができないことがある。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：国際公開2016-157402号公報

特許文献2：国際公開2017-158682号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 本開示は、部材の異常の予兆を検知可能な構成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

[0007] 本開示の一態様によれば、異常予兆検知対象の部材に関するセンサデータを取得して正常モデルを作成し、前記正常モデルに基づいて装置の状態を監視する構成であって、前記異常予兆検知対象の部材の交換またはメンテナンス後に、前記センサデータを取得して該センサデータから前記正常モデルを再作成し、該正常モデルに基づいて前記装置の状態を監視して、前記装置が異常停止する前に異常の予兆を検知する構成が提供される。

発明の効果

[0008] 本開示によれば、部材の異常の予兆を検知することができる技術が提供される。

図面の簡単な説明

- [0009] [図1]一実施形態に係る基板処理装置の概略構成を示す斜視図である。
- [図2]一実施形態に係る基板処理装置の処理炉の概略構成を示す立断面図である。
- [図3]一実施形態に係る基板処理装置の主制御部の概略構成を示すブロック図である。
- [図4]一実施形態に係る基板処理装置を半導体製造装置として使用した場合の基板処理工程を示すフロー図である。
- [図5]一実施形態に係る基板処理装置の制御システムを示すブロック図である。
- [図6]一実施形態に係る基板処理装置の制御システムにおける特異スペクトル変換の説明図である。
- [図7]第3実施形態の具体例に係る予兆検知処理の工程の一部を示すフロー図

である。

[図8]第4実施形態の具体例に係る予兆検知処理の工程の一部を示すフロー図である。

発明を実施するための形態

[0010] 以下、本開示の一実施形態に係る半導体装置の製造方法、予兆検知プログラム、及び基板処理装置について説明する。なお、図1において、矢印Fは基板処理装置の正面方向、矢印Bは後面方向、矢印Rは右方向、矢印Lは左方向、矢印Uは上方向、矢印Dは下方向を指す。

[0011] <処理装置の全体構成>

基板処理装置10の構成について、図1、図2を参照しながら説明する。図1に示すように、基板処理装置10は耐圧容器からなる筐体12を備えている。筐体12の正面壁には、メンテナンス可能なように設けられた開口部が開設され、この開口部には、開口部を開閉する立ち入り機構として一对の正面メンテナンス扉14が設けられている。なお、この基板処理装置10では、後述するシリコン等の基板（ウエハ）16（図2参照）を収納したポッド（基板収容器）18が、筐体12内外へ基板16を搬送するキャリアとして使用される。

[0012] 筐体12の正面壁には、ポッド搬入搬出口が、筐体12内外を連通するように開設されている。ポッド搬入搬出口には、ロードポート20が設置されている。ロードポート20上にはポッド18が載置されるとともに、ポッド18の位置合わせが行われるように構成されている。

[0013] 筐体12内の略中央部における上部には、回転式ポッド棚22が設置されている。回転式ポッド棚22上には、複数個のポッド18が保管されるように構成されている。回転式ポッド棚22は、垂直に立設されて水平面内で回転される支柱と、支柱に上中下段の各位置において放射状に支持された複数枚の棚板と、を備えている。

[0014] 筐体12内におけるロードポート20と回転式ポッド棚22との間には、ポッド搬送装置24が設置されている。ポッド搬送装置24は、ポッド18

を保持したまま昇降可能なポッドエレベータ 24 A とポッド搬送機構 24 B とを有している。このポッドエレベータ 24 A とポッド搬送機構 24 B との連続動作により、ロードポート 20、回転式ポッド棚 22、及び後述するポッドオープナ 26 との間で、ポッド 18 を相互に搬送するように構成されている。

[0015] 筐体 12 内の下部には、筐体 12 内の略中央部から後端にわたってサブ筐体 28 が設けられている。サブ筐体 28 の正面壁には、基板 16 をサブ筐体 28 内外に搬送する一対のポッドオープナ 26 がそれぞれ設置されている。

[0016] 各ポッドオープナ 26 は、ポッド 18 を載置する載置台と、ポッド 18 のキャップを着脱するキャップ着脱機構 30 とを備えている。ポッドオープナ 26 は、載置台上に載置されたポッド 18 の蓋をキャップ着脱機構 30 によって着脱することにより、ポッド 18 の基板出し入れ口を開閉するように構成されている。

[0017] サブ筐体 28 内には、ポッド搬送装置 24 や回転式ポッド棚 22 等が設置された空間から流体的に隔絶された移載室 32 が構成されている。移載室 32 の前側領域には基板移載機構 34 が設置されている。基板移載機構 34 は、基板 16 を水平方向に回転ないし直動可能な基板移載装置 34 A と、基板移載装置 34 A を昇降させる基板移載装置エレベータ 34 B とで構成されている。

[0018] 基板移載装置エレベータ 34 B は、サブ筐体 28 の移載室 32 の前方領域右端部と筐体 12 右側の端部との間に設置されている。また、基板移載装置 34 A は、基板 16 の保持部としての図示しないツイーザを備えている。これら基板移載装置エレベータ 34 B 及び基板移載装置 34 A の連続動作により、基板 16 を基板保持具としてのポート 36 に対して装填（チャージング）及び脱装（ディスチャージング）することが可能に構成されている。

[0019] サブ筐体 28 (移載室 32) 内には、図 2 に示すように、ポート 36 を昇降させるポートエレベータ 38 が設置されている。ポートエレベータ 38 の昇降台には、アーム 40 が連結されており、アーム 40 には、蓋体 42 が水平

に据え付けられている。蓋体 4 2 は、ポート 3 6 を垂直に支持し、後述する処理炉 4 4 の下端部を閉塞可能に構成されている。

[0020] 主に、図 1 に示す回転式ポッド棚 2 2、ポッド搬送装置 2 4、基板移載機構 3 4、ポート 3 6、図 2 に示すポートエレベータ 3 8、及び後述する回転機構 4 6 により、基板 1 6 を搬送する搬送機構が構成されている。

[0021] 図 1 に示すように、ポート 3 6 を収容して待機させる待機部 5 0 の上方には、処理炉 4 4 が設けられている。また、移載室 3 2 の基板移載装置エレベータ 3 4 B 側とは反対側である左側端部には、クリーンユニット 5 2 が設置されている。クリーンユニット 5 2 は、清浄化した雰囲気もしくは不活性ガスであるクリーンエア 5 2 A を供給するよう構成されている。

[0022] なお、筐体 1 2 及びサブ筐体 2 8 の外周には、基板処理装置 1 0 内への立ち入り機構として、図示しない複数の装置カバーが取り付けられている。これら装置カバーと相対する筐体 1 2 及びサブ筐体 2 8 の端部には、立ち入りセンサとしてのドアスイッチ 5 4（筐体 1 2 のドアスイッチ 5 4 のみ図示）が設けられている。

[0023] また、ロードポート 2 0 上には、ポッド 1 8 の載置を検知する基板検知センサ 5 6 が設けられている。これらドアスイッチ 5 4 及び基板検知センサ 5 6 等のスイッチ、センサ類は、後述する主制御部としての基板処理装置用コントローラ 5 8（図 2、図 3 参照）に電氣的に接続されている。

[0024] 図 2 に示すように、基板処理装置 1 0 は、筐体 1 2 の外に、ガス供給ユニット 6 0 と、排気ユニット 6 2 とを備えている。ガス供給ユニット 6 0 内には、処理ガス供給系統とパージガス供給系統とが格納されている。処理ガス供給系統は、図示しない処理ガス供給源及び開閉バルブと、ガス流量制御器としてのマスフローコントローラ（以下、MFC と略す）6 4 A と、処理ガス供給管 6 6 A と、を含んでいる。また、パージガス供給系統は、図示しないパージガス供給源及び開閉バルブと、MFC 6 4 B と、パージガス供給管 6 6 B と、を含んでいる。

[0025] 排気ユニット 6 2 内には、排気管 6 8 と、圧力検知部としての圧力センサ

70と、例えばAPC (Auto Pressure Controller) バルブからなる圧力調整部72と、により構成されるガス排気機構が格納されている。図示を省略するが、排気ユニット62の下流側において、排気管68には、排気装置としての真空ポンプ74が接続されている。なお、真空ポンプ74もガス排気機構に含めるようにしてもよい。

[0026] 図2に示すように、主制御部としての基板処理装置用コントローラ58は、搬送コントローラ48、温度コントローラ76、圧力コントローラ78、ガス供給コントローラ80にそれぞれ接続されている。また、図5に示すように、基板処理装置用コントローラ58は、後述する予兆検知部としての予兆検知コントローラ82に接続されている。

[0027] <処理炉の構成>

図2に示すように、処理炉44は、反応管（プロセスチューブ）84を備えている。反応管84は、内部反応管（インナーチューブ）84Aと、その外側に設けられた外部反応管（アウターチューブ）84Bと、を備えている。内部反応管84Aは、上端及び下端が開口した円筒形状に形成されており、内部反応管84A内の筒中空部には、基板16を処理する処理室86が形成されている。処理室86は、ボート36を収容可能なように構成されている。

[0028] 反応管84の外側には、反応管84の側壁面を囲うように、円筒形状のヒータ88が設けられている。ヒータ88は、ヒータベース90に支持されることにより垂直に据え付けられている。

[0029] 外部反応管84Bの下方には、外部反応管84Bと同心円状になるように、円筒形状の炉口部（マニホールド）92が配設されている。炉口部92は、内部反応管84Aの下端部と外部反応管84Bの下端部とを支持するように設けられ、内部反応管84Aの下端部と外部反応管84Bの下端部とにそれぞれ係合している。

[0030] なお、炉口部92と外部反応管84Bとの間には、シール部材としてのリング94が設けられている。炉口部92がヒータベース90に支持される

ことにより、反応管 8 4 は垂直に据え付けられた状態となっている。この反応管 8 4 と炉口部 9 2 とにより反応容器が形成される。

[0031] 炉口部 9 2 には、処理ガスノズル 9 6 A 及びパージガスノズル 9 6 B が処理室 8 6 に連通するように接続されている。処理ガスノズル 9 6 A には、処理ガス供給管 6 6 A が接続されている。処理ガス供給管 6 6 A の上流側には、M F C 6 4 A を介して、図示しない処理ガス供給源等が接続されている。また、パージガスノズル 9 6 B には、パージガス供給管 6 6 B が接続されている。パージガス供給管 6 6 B の上流側には、M F C 6 4 B を介して、図示しないパージガス供給源等が接続されている。

[0032] 炉口部 9 2 には、処理室 8 6 の雰囲気を排気する排気管 6 8 が接続されている。排気管 6 8 は、内部反応管 8 4 A と外部反応管 8 4 B との隙間によって形成される筒状空間 9 8 の下端部に配置されて筒状空間 9 8 に連通している。排気管 6 8 の下流側には、圧力センサ 7 0、圧力調整部 7 2、真空ポンプ 7 4 が上流側から順に接続されている。

[0033] 炉口部 9 2 の下方には、炉口部 9 2 の下端開口を気密に閉塞可能な円盤状の蓋体 4 2 が設けられており、蓋体 4 2 の上面には、炉口部 9 2 の下端と当接するシール部材としての O リング 1 0 0 が設けられている。

[0034] 蓋体 4 2 の中心部付近における処理室 8 6 と反対側には、ポート 3 6 を回転させる回転機構 4 6 が設置されている。回転機構 4 6 の回転軸 1 0 2 は、蓋体 4 2 を貫通してポート 3 6 を下方から支持している。また、回転機構 4 6 には、回転モータ 4 6 A が内蔵されており、この回転モータ 4 6 A によって回転機構 4 6 の回転軸 1 0 2 を回転させ、ポート 3 6 を回転させることで、基板 1 6 を回転させるように構成されている。

[0035] 蓋体 4 2 は、反応管 8 4 の外部に設けられたポートエレベータ 3 8 によって、垂直方向に昇降されるように構成されている。蓋体 4 2 を昇降させることにより、ポート 3 6 を処理室 8 6 へ搬送することが可能に構成されている。回転機構 4 6 の回転モータ 4 6 A 及びポートエレベータ 3 8 には、搬送コントローラ 4 8 が電氣的に接続されている。

[0036] ポート 36 は、複数枚の基板 16 を水平姿勢でかつ互いに中心を揃えた状態で整列させて多段に保持するように構成されている。また、ポート 36 の下部には、断熱部材としての円板形状の断熱板 104 が水平姿勢で多段に複数枚配置されている。ポート 36 及び断熱板 104 は、例えば石英や炭化珪素等の耐熱性材料により構成されている。断熱板 104 は、ヒータ 88 から熱を炉口部 92 側に伝えにくくするために設けられている。

[0037] また、反応管 84 内には、温度検知器としての温度センサ 106 が設置されている。このヒータ 88 と温度センサ 106 とには、温度コントローラ 76 が電氣的に接続されている。

[0038] <基板処理装置の動作>

続いて、図 1 及び図 2 を参照しながら、半導体デバイスの製造工程の一工程として、基板 16 上に薄膜を形成する方法について説明する。なお、基板処理装置 10 を構成する各部の動作は、基板処理装置用コントローラ 58 により制御される。

[0039] 図 1 に示すように、ポッド 18 が工程内搬送装置（図示せず）によってロードポート 20 に供給されると、基板検知センサ 56 によりポッド 18 が検知され、ポッド搬入搬出口がフロントシャッタ（図示せず）によって開放される。そして、ロードポート 20 の上のポッド 18 が、ポッド搬送装置 24 によってポッド搬入搬出口から筐体 12 内部へと搬入される。

[0040] 筐体 12 内部へと搬入されたポッド 18 は、ポッド搬送装置 24 によって回転式ポッド棚 22 の棚板上へ自動的に搬送されて一時的に保管される。その後、ポッド 18 は、棚板上から一方のポッドオープナ 26 の載置台上に移載される。なお、筐体 12 内部へと搬入されたポッド 18 は、ポッド搬送装置 24 によって直接ポッドオープナ 26 の載置台上に移載されてもよい。

[0041] 載置台に載置されたポッド 18 は、その蓋がキャップ着脱機構 30 によって取り外され、基板出し入れ口が開放される。その後、基板 16（図 2 参照）は、基板移載装置 34 A のツイーザによって基板出し入れ口を通じてポッド 18 内からピックアップされ、図示しないノッチ合わせ装置にて方位が整

合された後、移載室 3 2 の後方にある待機部 5 0 へ搬入され、ポート 3 6 に装填される。そして、基板移載装置 3 4 A は、ポッド 1 8 が載置された載置台に戻り、ポッド 1 8 内から次の基板 1 6 を取り出し、ポート 3 6 に装填する。

[0042] この一方（上段または下段）のポッドオープナ 2 6 における基板移載機構 3 4 による基板 1 6 のポート 3 6 への装填作業中に、他方（下段または上段）のポッドオープナ 2 6 の載置台上には、別のポッド 1 8 が回転式ポッド棚 2 2 上からポッド搬送装置 2 4 によって搬送される。この別のポッド 1 8 が載置台に移載されることで、ポッドオープナ 2 6 によるポッド 1 8 の開放作業が同時進行される。

[0043] 予め指定された枚数の基板 1 6 がポート 3 6 内に装填されると、処理炉 4 4 の下端部が、図示しない炉口シャッタによって開放される。続いて、基板 1 6 群を保持したポート 3 6 は、蓋体 4 2 がポートエレベータ 3 8 によって上昇されることにより処理炉 4 4 内へ搬入（ローディング）されていく。

[0044] 上述のように、複数枚の基板 1 6 を保持したポート 3 6 が処理炉 4 4 の処理室 8 6 に搬入（ローディング）されると、図 2 に示すように、蓋体 4 2 は Oリング 1 0 0 を介して炉口部 9 2 の下端をシールした状態となる。

[0045] その後、処理室 8 6 が所望の圧力（真空度）となるように、真空ポンプ 7 4 によって真空排気される。この際、圧力センサ 7 0 が測定した圧力値に基づき、圧力調整部 7 2 （の弁の開度）がフィードバック制御される。また、処理室 8 6 が所望の温度となるように、ヒータ 8 8 によって加熱される。この際、温度センサ 1 0 6 が検知した温度値に基づき、ヒータ 8 8 への通電量がフィードバック制御される。続いて、回転機構 4 6 により、ポート 3 6 及び基板 1 6 が回転させられる。

[0046] 次いで、処理ガス供給源から供給されて M F C 6 4 A にて所望の流量となるように制御された処理ガスは、処理ガス供給管 6 6 A 内を流通して処理ガスノズル 9 6 A から処理室 8 6 に導入される。導入された処理ガスは処理室 8 6 を上昇し、内部反応管 8 4 A の上端開口から筒状空間 9 8 に流出して排

気管 68 から排気される。処理ガスは、処理室 86 を通過する際に基板 16 の表面と接触し、この際に熱反応によって基板 16 の表面上に薄膜が堆積される。

[0047] 予め設定された処理時間が経過すると、パージガス供給源から供給されて MFC 64B にて所望の流量となるように制御されたパージガスが処理室 86 に供給され、処理室 86 が不活性ガスに置換されるとともに、処理室 86 の圧力が常圧に復帰される。

[0048] その後、ボートエレベータ 38 により蓋体 42 が下降されて炉口部 92 の下端が開口されるとともに、処理済の基板 16 を保持するボート 36 が炉口部 92 の下端から反応管 84 の外部へと搬出（アンローディング）される。その後、処理済の基板 16 はボート 36 より取り出され（ディスチャージ）、ポッド 18 内へ格納される。

[0049] ディスチャージ後は、ノッチ合わせ装置での整合工程を除き、上述の手順とほぼ反対の手順で、処理後の基板 16 を格納したポッド 18 が筐体 12 外へと搬出される。

[0050] <基板処理装置用コントローラの構成>

次に、図 3 を参照して、主制御部としての基板処理装置用コントローラ 58 について具体的に説明する。

[0051] 基板処理装置用コントローラ 58 は、主に CPU (Central Processing Unit) 等の演算制御部 108 と、RAM 110、ROM 112、及び図示しない HDD を備える記憶部 114 と、マウスやキーボード等の入力部 116 と、モニタ等の表示部 118 と、から構成されている。なお、演算制御部 108、記憶部 114、入力部 116、及び表示部 118 によって、各データを設定可能に構成されている。

[0052] 演算制御部 108 は、基板処理装置用コントローラ 58 の中枢を構成し、ROM 112 に記憶された制御プログラムを実行し、入力部 116 からの指示に従って、レシピ記憶部も構成する記憶部 114 に記憶されているレシピ（例えば、基板処理レシピとしてのプロセスレシピ等）を実行する。

- [0053] ROM 112は、フラッシュメモリ、ハードディスク等により構成される記録媒体であり、基板処理装置10の各部材（例えば真空ポンプ74等）の動作の制御を行う演算制御部108の動作プログラム等を記憶する。また、RAM 110（メモリ）は、演算制御部108のワークエリア（一時記憶部）として機能する。
- [0054] ここで、基板処理レシピ（プロセスレシピ）は、基板16を処理する処理条件や処理手順等が定義されたレシピである。また、レシピファイルには、搬送コントローラ48、温度コントローラ76、圧力コントローラ78、及びガス供給コントローラ80等に送信する設定値や送信タイミング等が、基板処理レシピのステップ毎に設定されている。
- [0055] 演算制御部108は、処理炉44内にローディングされた基板16に対し、所定の処理がなされるように、処理炉44内の温度や圧力、処理炉44内に導入される処理ガスの流量等を制御する機能を有している。
- [0056] 搬送コントローラ48は、基板16を搬送する搬送機構を構成する回転式ポッド棚22、ポートエレベータ38、ポッド搬送装置24、基板移載機構34、ポート36、及び回転機構46の搬送動作をそれぞれ制御するように構成されている。
- [0057] また、回転式ポッド棚22、ポートエレベータ38、ポッド搬送装置24、基板移載機構34、ポート36、及び回転機構46には、それぞれセンサが内蔵されている。これらのセンサがそれぞれ所定の値や異常な値等を示した際には、基板処理装置用コントローラ58にその旨の通知が行われる。なお、基板処理装置10の各部材の異常の予兆の検知システムについては、後に詳述する。
- [0058] 記憶部114には、各種データ等が格納されるデータ格納領域120と、基板処理レシピを含む各種プログラムが格納されるプログラム格納領域122とが設けられている。データ格納領域120は、レシピファイルに関連する各種パラメータが格納される。また、プログラム格納領域122には、上述の基板処理レシピを含む装置を制御するのに必要な各種プログラムが格納

されている。

[0059] また、基板処理装置用コントローラ 58 の表示部 118 には、図示しないタッチパネルが設けられている。タッチパネルは、上述の基板搬送系統及び基板処理系統への操作コマンドの入力を受け付ける操作画面を表示するように構成されている。なお、基板処理装置用コントローラ 58 は、パソコンやモバイル等の操作端末（端末装置）のように、少なくとも表示部 118 と入力部 116 を含む構成であればよい。

[0060] 温度コントローラ 76 は、処理炉 44 のヒータ 88 の温度を制御することで処理炉 44 内の温度を調節する。なお、温度センサ 106 が所定の値や異常な値等を示した際には、基板処理装置用コントローラ 58 にその旨の通知が行われる。

[0061] 圧力コントローラ 78 は、圧力センサ 70 により検知された圧力値に基づいて、処理室 86 の圧力が所望のタイミングにて所望の圧力となるように、圧力調整部 72 を制御する。なお、圧力センサ 70 が所定の値や異常な値等を示した際には、基板処理装置用コントローラ 58 にその旨の通知が行われる。

[0062] ガス供給コントローラ 80 は、処理室 86 に供給するガスの流量が所望のタイミングにて所望の流量となるように、MFC 64A、64B を制御するように構成されている。なお、MFC 64A、64B 等が備えるセンサ（図示せず）が所定の値や異常な値等を示した際には、基板処理装置用コントローラ 58 にその旨の通知が行われる。

[0063] <基板処理工程>

次に、本実施形態の基板処理装置 10 を半導体製造装置として使用して、基板を処理する基板処理工程の概略について、図 4 を用いて説明する。この基板処理工程は、例えば、半導体装置（IC、LSI 等）の製造方法の一工程である。なお、以下の説明において、基板処理装置 10 を構成する各部の動作や処理は、基板処理装置用コントローラ 58 により制御される。

[0064] ここでは、基板 16 に対して、原料ガス（第 1 の処理ガス）と反応ガス（

第2の処理ガス)とを交互に供給することで、基板16上に膜を形成する例について説明する。また、以下、原料ガスとしてヘキサクロロジシラン(Si_2Cl_6 、以下HCDSと略す)ガスを用い、反応ガスとしてアンモニア(NH_3)を用いて基板16上に薄膜としてシリコン窒化(SiN)膜を形成する例について説明する。なお、例えば、基板16上には、予め所定の膜が形成されていてもよく、基板16又は所定の膜には、予め所定のパターンが形成されていてもよい。

[0065] (基板搬入工程S102)

まず、基板搬入工程S102では、基板16をボート36に装填し、処理室86へ搬入する。

[0066] (成膜工程S104)

成膜工程S104では、次の4つのステップを順次実行して基板16の表面上に薄膜を形成する。なお、ステップ1~4の間は、ヒータ88により、基板16を所定の温度に加熱しておく。

[0067] [ステップ1]

ステップ1では、処理ガス供給管66Aに設けた図示しない開閉バルブと、排気管68に設けた圧力調整部72(APCバルブ)を開けて、MFC64Aにより流量調節されたHCDSガスを処理ガス供給管66Aに通す。そして、HCDSガスを処理ガスノズル96Aから処理室86に供給しつつ、排気管68から排気する。この際、処理室86の圧力を所定圧力に保つ。これにより、基板16の表面にシリコン薄膜(Si膜)を形成する。

[0068] [ステップ2]

ステップ2では、処理ガス供給管66Aの開閉バルブを閉めてHCDSガスの供給を止める。排気管68の圧力調整部72(APCバルブ)は開いたままとし、真空ポンプ74により処理室86を排気し、残留ガスを処理室86から排除する。また、パージガス供給管66Bに設けられた開閉バルブを開けて、 N_2 等の不活性ガスを処理室86に供給して処理室86のパージを行い、処理室86の残留ガスを処理室86外に排出する。

[0069] [ステップ3]

ステップ3では、パージガス供給管66Bに設けられた図示しない開閉バルブと、排気管68に設けられた圧力調整部72（APCバルブ）をともに開け、MFC64Bにより流量調節されたNH₃ガスをパージガス供給管66Bに通す。そして、NH₃ガスをパージガスノズル96Bから処理室86に供給しつつ、排気管68から排気する。この際、処理室86の圧力を所定圧力に保つ。これにより、HCDSガスによって基板16の表面に形成されたSi膜とNH₃ガスとが表面反応して、基板16上にSiN膜が形成される。

[0070] [ステップ4]

ステップ4では、パージガス供給管66Bの開閉バルブを閉めて、NH₃ガスの供給を止める。排気管68の圧力調整部72（APCバルブ）は開いたままとし、真空ポンプ74により処理室86を排気し、残留ガスを処理室86から排除する。また、N₂等の不活性ガスを処理室86に供給し、再び処理室86のパージを行う。

[0071] 上記のステップ1～4を1サイクルとし、このサイクルを複数回繰り返すことによって基板16上に所定膜厚のSiN膜を形成する。

[0072] （基板搬出工程S106）

基板搬出工程S106では、SiN膜が形成された基板16が載置されたボート36を、処理室86から搬出する。

[0073] <本実施形態における制御システム>

次に、基板処理装置10の各部材の異常の予兆（故障の予兆）を検知する制御システムについて、図5及び図6を参照して説明する。なお、以下、基板処理装置10によって基板16上に薄膜を形成する例を用いて説明する。

[0074] 図5に示すように、制御システムは、主制御部としての基板処理装置用コントローラ58と、予兆検知部としての予兆検知コントローラ82と、各種センサ類124と、データ収集ユニット（Data Collection Unit、以下DCUと略す）126と、エッジコントローラ（Edge Controller、以下ECと略す）128と、を備え、これらは、

有線または無線でそれぞれ接続されている。

- [0075] 基板処理装置用コントローラ 58 は、顧客ホストコンピュータを含む図示しない上位コンピュータと、図示しない操作部と、に接続されている。操作部は、基板処理装置用コントローラ 58 が取得した各種のデータ（センサデータ等）を、上位コンピュータとの間でやり取り可能な構成とされている。
- [0076] 予兆検知コントローラ 82 は、基板処理装置 10 に設けられた様々な部材のセンサからセンサデータを取得して基板処理装置 10 の状態を監視する。具体的には、予兆検知コントローラ 82 は、各種センサ類 124 からのデータを利用して数値指標を算出し、予め決めた閾値と比較して異常の予兆を検知する。なお、予兆検知コントローラ 82 は、センサデータの動きを元に、異常の予兆を検知する予兆検知プログラムを内蔵している。
- [0077] また、予兆検知コントローラ 82 は、基板処理装置用コントローラ 58 に直接接続される系統と、DCU 126 を経由して基板処理装置用コントローラ 58 に接続される系統の 2 つの系統を有している。このため、予兆検知コントローラ 82 で異常の予兆を検知した場合、DCU 126 を介さずに基板処理装置用コントローラ 58 に直接信号を出して、アラームを発生させるとともに、異常の予兆が認められた部材に設けられたセンサのセンサデータの情報を表示部 118（図 3 参照）の画面に表示することが可能とされている。
- [0078] 各種センサ類 124 は、基板処理装置 10 に設けられた様々な部材に設けられたセンサ（例えば圧力センサ 70 や温度センサ 106 等）であり、各部材の流量、濃度、温度、湿度（露点）、圧力、電流、電圧、電圧、トルク、振動、位置、回転速度等を検知する。
- [0079] DCU 126 は、プロセスレシピの実行中に各種センサ類 124 のデータを収集して蓄積する。また、EC 128 は、センサの種類によって必要に応じてセンサデータを一旦取り込み、生データに高速フーリエ変換（Fast Fourier Transform、以下FFTと略す）等の処理を加えた後、予兆検知コントローラ 82 に送信する。

[0080] また、各種センサ類 1 2 4 は、送信経路の異なる第 1 センサ系統 1 2 4 A と、第 2 センサ系統 1 2 4 B とに分けられている。第 1 センサ系統 1 2 4 A は、0.1 秒単位でリアルタイムに生データを取込む系統であり、第 1 センサ系統 1 2 4 A から基板処理装置用コントローラ 5 8 及び D C U 1 2 6 を経て予兆検知コントローラ 8 2 にリアルタイムで生データが送信される。この第 1 センサ系統 1 2 4 A には、例えば温度センサや、圧力センサ、ガス流量センサ等のセンサが含まれる。

[0081] 一方、第 2 センサ系統 1 2 4 B は、E C 1 2 8 で F F T 等の処理をかけて解析に必要な部分のみ取り出し、加工されたファイル形式でデータが送信される系統であり、第 2 センサ系統 1 2 4 B から E C 1 2 8 を経て予兆検知コントローラ 8 2 に加工したデータが送信される。この第 2 センサ系統 1 2 4 B には、例えば振動センサ等のセンサが含まれる。

[0082] センサが振動センサの場合、ミリ秒単位で振動データが蓄積されるため、データ量が膨大となり、そのままデータを予兆検知コントローラ 8 2 に送信すると、予兆検知コントローラ 8 2 の記憶部容量の大量消費につながる。この振動センサのデータは、最終的に F F T 等の処理をして解析に使用するため、その処理をあらかじめ E C 1 2 8 で実施させることで、情報量を減少させ、かつ解析し易いデータの形式として予兆検知コントローラ 8 2 へ送信することができる。

[0083] (第 1 実施形態)

以下、上述した制御システムを用いた基板処理装置 1 0 の各部材の異常の予兆の検知工程の第 1 実施形態について、具体的に説明する。

[0084] [非正常度の算出]

まず、異常予兆検知対象の部材に直接設置してあるセンサが検出した値と、その部材の状態が直接又は間接的に影響する他の部材のセンサが検出した値とを複数使用して、「非正常度」を算出する。本実施形態では、例えば異常予兆検知対象の部材が異常状態に近づくと、非正常度の値が概ね増加する性質を持つように構成する。なお、非正常度は、異常予兆検知対象の部材が

異常状態に近づくと、値が減少する性質を持つように構成してもよい。

[0085] [非正常度を構成する元データ]

基板処理のシーケンスは、例えば、基板 16 の処理室 86 内への搬入、処理室 86 内の真空引き、昇温、不活性ガスによるパージ、昇温待ち、基板 16 の処理（例えば成膜）、処理室 86 内のガス置換、大気圧へ戻す、処理後の基板 16 の搬出等、それぞれの目的を持った多くのイベントで構成されている。なお、上記のイベントは基板処理シーケンスの一例であり、各イベントはさらに細かく分割されているケースがある。

[0086] 本実施形態では、シーケンス中のセンサデータをすべて使うことなく、これらのイベントの中の 1 つ以上の特定のイベントにおける、1 つ以上のセンサの値を、アルゴリズム内の数値指標である「非正常度」を算出する元データとして使用している。また、Run 毎の非正常度値を監視して、基板処理装置 10 の各部材の異常の予兆を検知する。このように、特定のイベントのデータだけを使用することで、データ蓄積量を節約することが可能となる。

[0087] 例えば、真空ポンプ 74 の異常予兆検知は、真空ポンプ 74 に大きな負荷がかかるタイミングで検知し易い状態となる。処理室 86 の圧力を大気圧から所定圧力まで減圧させるステップ、すなわち真空引き開始時や、真空引き開始後数分間の大気圧に近い圧力帯が、真空ポンプ 74 に大きな負荷がかかるタイミングに該当する。

[0088] 具体的には、基板処理装置 10 は 1 台で複数の工程を担当しており、成膜条件が異なるもの等、異なった処理レシピが入り混じって着工される場合がある。基板 16 の成膜時には原料ガスが流れるため、原料ガスが反応又は熱分解して固形物を作る場合があり、それが真空ポンプ 74 に負荷をかける場合があるため、成膜イベント中を監視することも異常予兆検知にとっては有効である。

[0089] 一方、基板処理前の真空引きのイベントは、その後の基板処理イベントが異なっても、共通な場合が多い。つまり、同一装置で複数の異なる成膜条件のレシピが着工される場合でも、この各 Run で共通の真空引き開始時の状態

を監視してセンサデータを取得することで、基板処理内容に依存せず、同一の状態の経時変化を知ることができ、精度の高い予測が可能となる。

[0090] [非正常度の計算例]

ここで、振動センサのセンサデータを用いる場合、及び振動センサ以外のセンサ（例えば電流センサ、温度センサ、排気圧センサ、トルク値データ、及び電流データ等）のセンサデータを用いる場合の非正常度の計算例をそれぞれ示す。

[0091] まず、振動センサのセンサデータ（振動データ）を用いて個別周波数毎に異常の有無を判断する場合は、以下の手順となる。

[0092] （１）プロセスレシピを構成する各ステップのうちの指定ステップにおけるセンサデータのうち、振動センサにより検出される振動データ（生データ）を取得する。

（２）取得した振動データをＦＦＴ等の処理によって振動周波数スペクトルに変換し、変換された振動周波数スペクトルの所定範囲（例えば１０Ｈｚ～５０００Ｈｚ）の周波数を所定の周波数間隔（例えば１０Ｈｚ毎）で抽出する（数値は振動の振幅（包絡線）であり、例示の場合５００次元になる）。

（３）抽出した周波数毎に、正常時のプロセスレシピの所定回数分のデータ（例えば３０Ｒｕｎ分）を使って振動周波数スペクトルの振幅の平均値 μ と標準偏差 σ を計算し、正常時の振幅は正規分布 $N(\mu, \sigma)$ に従うと仮定し、これを正常モデルとする。

（４）正常モデル作成後の（２）の数値を非正常度ベクトルとして、抽出した周波数毎に正常モデルの振幅値と予め決められた閾値と比較し、所定個数以上（例えば m （ $m \geq 1$ ）個以上）の周波数の振幅値が閾値を外れた場合、異常の予兆が生じている（異常予兆有）と判断する。なお、閾値は、例えば（３）で求めた平均値 μ と標準偏差 σ を用い、標準偏差 σ を３倍した数値を平均値 μ に加算又は減算した範囲（ $\mu \pm 3\sigma$ ）で算出される。

[0093] また、振動センサのセンサデータ（振動データ）を用いて各周波数の振幅の和で判断する場合は、以下の手順となる。

[0094] (1) プロセスレシピを構成する各ステップのうちの指定ステップにおけるセンサデータのうち、振動センサにより検出される振動データ（生データ）を取得する。

(2) 取得した振動データをFFT等の処理によって振動周波数スペクトルに変換し、変換された振動周波数スペクトルの所定範囲（例えば10Hz～5000Hz）の周波数を所定の周波数間隔（例えば10Hz毎）で抽出する（数値は振動の振幅（包絡線）であり、例示の場合500次元になる）。

(3) 抽出した周波数毎の振幅の総和を正常時のRun毎にすべて足し算する（1Run毎に1つの振幅の和が得られるため、30Runなら30個の数字が得られる）。

(4) Run毎に求まった数値群から、その平均値 μ と標準偏差 σ を計算し、Run毎に求めた和が正規分布 $N(\mu, \sigma)$ に従うと仮定し、これを正常モデルとする。

(5) 正常モデル作成後の(3)の値を非正常度として、正常モデルの振幅値と予め決められた閾値と比較し、振幅値が閾値を外れた場合、異常予兆有（異常の予兆が発生している）と判断する。なお、閾値は、例えば(3)で求めた平均値 μ と標準偏差 σ を用い、標準偏差 σ を3倍した数値を平均値 μ に加算又は減算した範囲（ $\mu \pm 3\sigma$ ）で算出される。

[0095] また、振動データ以外のセンサデータを用いて基本統計量毎に判断する場合は、以下の手順となる。

[0096] (1) 正常時の対象イベントのセンサデータの平均値、標準偏差、N分位点、最大値、最小値の基本統計量の中から、1つ以上のデータを選択する。

(2) 選択した正常時の基本統計量の統計量毎に平均値 μ 、標準偏差 σ を求め、各基本統計量が正規分布に従うと仮定する。これをセンサの各基本統計量の正常モデルとする。

(3) 正常モデル作成後の、(1)の値を非正常度として、基本統計量毎にその値が予め決めた所定の閾値を外れた場合、異常予兆有と判断する。な

お、閾値は、例えば(2)で求めた平均値 μ と標準偏差 σ を用い、標準偏差 σ を3倍した数値を平均値 μ に加算又は減算した範囲($\mu \pm 3\sigma$)で算出される。

[0097] また、図6に示すように、振動データ以外のセンサデータを用いて特異スペクトル変換を用いて判断する場合は、以下の手順となる。なお、以下の手順では、 Run_p の周り窓幅 n の部分時系列を使って過去と現在側において2つのデータ行列 X と Z を作成する。以下の手順は、特異スペクトル変換の一般的なやり方である。

[0098] (1) それぞれ M 次元縦ベクトルとみて、それらを一番上 $S(p-n+1, 1)$ から一番下 $S(p, M)$ まで n 個縦につなげてできる Mn 次元の縦ベクトルを準備する。

Run_{p-n+1} の対象イベントの時刻1、2、 $\dots$ 、 M におけるセンサデータ

$\{S(p-n+1, 1), S(p-n+1, 2), \dots, S(p-n+1, M)\}$

$\dots$

Run_{p-1} の対象イベントの時刻1、2、 $\dots$ 、 M におけるセンサデータ

$\{S(p-1, 1), S(p-1, 2), \dots, S(p-1, M)\}$

Run_p の対象イベントの時刻1、2、 $\dots$ 、 M におけるセンサデータ

$\{S(p, 1), S(p, 2), \dots, S(p, M)\}$

(2) それぞれ M 次元縦ベクトルとみて、それらを一番上 $S(p-n+1, 1)$ から一番下 $S(p, M)$ まで n 個縦につなげてできる Mn 次元の縦ベクトル((1)と比較して1つ古い Run 群にシフトしたもの)を準備する。

Run_{p-n} の対象イベントの時刻1、2、 $\dots$ 、 M におけるセンサデータ

$\{S(p-n, 1), S(p-n, 2), \dots, S(p-n, M)\}$
 $\dots$

Run $p-2$ の対象イベントの時刻 1、2、 $\dots$ 、 M におけるセンサデータ

$\{S(p-2, 1), S(p-2, 2), \dots, S(p-2, M)\}$

Run $p-1$ の対象イベントの時刻 1、2、 $\dots$ 、 M におけるセンサデータ

$\{S(p-1, 1), S(p-1, 2), \dots, S(p-1, M)\}$

(3) 上記 (1)、(2) と同様に、順に構成された縦ベクトルを K 個準備し、古いものから新しいものへと左から右へそれらの縦ベクトルを並べてできる $Mn \times K$ 次元の行列 $X(p)$ を作成する。以上で特異スペクトル変換を実施するための履歴行列を作成したことになる。

(4) それぞれ M 次元縦ベクトルとみて、それらを一番上 $S(p+L, 1)$ から一番下 $S(p+L-n+1, M)$ まで n 個縦につなげてできる Mn 次元の縦ベクトルを準備する。なお、 L を正の整数とする。

Run $p+L$ の対象イベントの時刻 1、2、 $\dots$ 、 M におけるセンサデータ

$\{S(p+L, 1), S(p+L, 2), \dots, S(p+L, M)\}$
 $\dots$

Run $p+L-n+2$ の対象イベントの時刻 1、2、 $\dots$ 、 M におけるセンサデータ

$\{S(p+L-n+2, 1), S(p+L-n+2, 2), \dots, S(p+L-n+2, M)\}$

Run $p+L-n+1$ の対象イベントの時刻 1、2、 $\dots$ 、 M におけるセンサデータ

$\{S(p+L-n+1, 1), S(p+L-n+1, 2), \dots, S(p+L-n+1, M)\}$

(5) それぞれ M 次元縦ベクトルとみて、それらを一番上 $S(p+L-1,$

1) から一番下 $S(p+L-n, M)$ まで n 個縦につなげてできる Mn 次元の縦ベクトル ((4) と比較して 1 つ古い Run 群にシフトしたもの) を準備する。

Run_{p+L-1} の対象イベントの時刻 1、2、 $\dots$ 、 M におけるセンサデータ

$\{S(p+L-1, 1), S(p+L-1, 2), \dots, S(p+L-1, M)\}$

$\dots$

$Run_{p+L-n+1}$ の対象イベントの時刻 1、2、 $\dots$ 、 M におけるセンサデータ

$\{S(p+L-n+1, 1), S(p+L-n+1, 2), \dots, S(p+L-n+1, M)\}$

Run_{p+L-n} の対象イベントの時刻 1、2、 $\dots$ 、 M におけるセンサデータ

$\{S(p+L-n, 1), S(p+L-n, 2), \dots, S(p+L-n, M)\}$

(6) 上記 (4)、(5) と同様に、順に構成された縦ベクトルを R 個準備し、古いものから新しいものへと左から右へそれらの縦ベクトルを並べてできる $Mn \times R$ 次元の行列 $Z(p)$ を作成する。以上で特異スペクトル変換のテスト行列を作成したことになる。

(7) 上記の行列 $X(p)$ と行列 $Z(p)$ に特異値分解を実施し、特異スペクトル変換を実施する。

(8) 特異値分解で得られる左特異ベクトルを、 $X(p)$ において r 本、 $Z(p)$ において m 本選び、それぞれ $U(r)$ 、 $Q(m)$ と行列を構成して、それらの積 $U(r)^T Q(m)$ の最大特異値を求める。それを λ とし ($0 \leq \lambda \leq 1$)、 $1 - \lambda$ を非正常度 (変化度) とする。この非正常度が予め決めた所定の閾値を外れた場合、異常予兆有と判断する。

[0099] [非正常度を使つての異常予兆判断]

また、非正常度を使った異常の予兆の有無の判断方法としては、例えば以下の方法が考えられる。なお、異常予兆有と判断した場合には、基板処理装置用コントローラ 58 へ通知する。

[0100] (1) 少なくとも 1 つのセンサデータの非正常度が閾値を外れた場合に、異常予兆有と判断する方法。

(2) 2 つ以上のセンサデータの非正常度が閾値を外れた場合に、異常予兆有と判断する方法。

(3) 1 つ又は 2 つ以上のセンサデータの非正常度が閾値を所定回数（例えば 3 回）外れた場合に、異常予兆有と判断する方法。

(4) 振動データ以外のセンサデータの非正常度が、所定回数（例えば 3 回）連続して閾値から外れた場合に、異常予兆有と判断する方法。

(5) 振動データ以外のセンサデータの非正常度が閾値から外れていても、振動データの非正常度が閾値から外れていない場合に、異常予兆有と判断しない方法。

(6) 振動データの非正常度と、振動データ以外のセンサデータの非正常度の両方が閾値から外れた場合に、異常予兆有と判断する方法。

[0101] 例えば上記 (2)、(5)、(6) の方法では、複数のセンサデータを用いて異常予兆を判断するため、センサの誤検知を減らすことができる。また、非正常度の動きは必ずしも単調ではないため、上記 (3)、(4) の方法では、非正常度の値が閾値前後をふらつく場合の誤判断を減らすことができる。なお、非正常度の算出式と閾値、プログラムは、部材毎及び装置毎に異なり、事前に予兆検知コントローラ 82 内に組み込まれる。

[0102] [異常予兆検知の解析画面の表示]

異常予兆検知の解析画面は、基板処理装置用コントローラ 58 の表示部 118（図 3 参照）で表示可能とされている。このため、非正常度の推移と閾値、及び閾値を超えた回数等を目視することでき、部材の状態を非正常度で確認することができる。

[0103] [EC が介在するケース]

ここで、図5に示す第2センサ系統124Bのケース、すなわちセンサと予兆検知コントローラ82との間にEC128が介在するケースについて説明する。

[0104] [時刻同期]

振動センサのデータはEC128で変換されるため、EC128の時刻を持った形で予兆検知コントローラ82に送信される。この振動センサのデータと、DCU126及び基板処理装置用コントローラ58側の時刻を持つ他のセンサデータとを同時に解析に用いるには、両者の時刻を同期させて解析する必要がある。このため、EC128、DCU126、及び予兆検知コントローラ82は、基板処理装置用コントローラ58の時刻を基準時刻として、時刻を定期的に取り込み、時刻を同期させている。これにより、すべての部材の時刻が同期され、正確な解析が可能となる。

[0105] ここで、真空ポンプ74（図2参照）を例に、基板処理装置10の部材の異常の予兆の検知方法について具体的に説明する。

[0106] 基板処理装置10の処理室86では、処理ガスの反応副生成物が内部に堆積し、この反応副生成物の量や高さが一定のレベルに達すると、真空ポンプ74の回転が急停止する。

[0107] ここで、真空ポンプ74の電流データ、温度データ、排気圧データ、及び振動データの少なくとも一つのセンサデータをモニタし続け、それらのセンサデータの挙動の変化を予兆検知コントローラ82内の予兆検知プログラムで解析することで、真空ポンプ74の異常の予兆を検知することが可能である。異常の予兆が検知された場合は、基板処理装置用コントローラ58へその情報を送信し、真空ポンプ74の交換や、メンテナンスをするように作業者に通知する。

[0108] (第2実施形態)

次に、上述した制御システムを用いた基板処理装置10の各部材の異常予兆の検知工程の第2実施形態について、具体的に説明する。なお、予兆検知コントローラ82等の構成や、非正常度を使つての異常予兆判断は、第1実

施形態と同様とされている。

[0109] [非正常度の算出]

本実施形態では、異常予兆検知対象の部材に設置してあるセンサの値と、その部材の状態が直接又は間接的に影響する他の部材のセンサの値とを複数使用して、正常時のセンサデータを学習し、学習したデータと稼働中のデータを使って「非正常度」を算出する。

[0110] 本実施形態では、例えば異常予兆検知対象の部材が異常状態に近づくと、非正常度の値が概ね増加する性質を持つように構成する。なお、非正常度は、異常予兆検知対象の部材が異常状態に近づくと、値が減少する性質を持つように構成してもよい。

[0111] ここで、真空ポンプ 7 4（図 2 参照）を例に、基板処理装置 1 0 の部材の異常の予兆の検知方法について具体的に説明する。

[0112] 一般的に、真空ポンプ 7 4 によって処理室 8 6 を真空引きしている状態では、真空ポンプ 7 4 に不活性ガスや成膜ガスが流れて負荷が高い状態となり、異常の予兆を検知し易い状態となる。一方、真空ポンプ 7 4 が処理室 8 6 を真空引きしていない状態では、真空ポンプ 7 4 の負荷は小さい状態となり、異常の予兆を検知し難い、もしくは異常が発生し難い状態となる。このため、従来は、処理室 8 6 を真空引きしている状態で真空ポンプ 7 4 を監視していた。

[0113] これに対し、本実施形態では、真空ポンプ 7 4 によって処理室 8 6 を真空引きしておらず、かつ、基板 1 6 が処理室 8 6 に無い状態のイベントにおいて、意図的に大量のガスを真空ポンプ 7 4 に流して真空ポンプ 7 4 への負荷を高める。そして、その状態で真空ポンプ 7 4 の電流データ、振動データ、温度データ、背圧データ等を監視することで、異常の予兆を検知し易くする。

[0114] このように、処理室 8 6 を真空引きしていない状態で真空ポンプ 7 4 に負荷をかけることにより、負荷をかけたときに真空ポンプ 7 4 が停止したとしても、基板 1 6 に損失が生じることを防ぐことができる。また、処理室 8 6

を真空引きしていない状態で負荷をかけた程度で真空ポンプ 7 4 が停止した場合には、真空ポンプ 7 4 は故障する直前の状態であったと考えられる。このため、結果的に処理室 8 6 を真空引きしている状態、すなわち基板処理時に真空ポンプ 7 4 が停止するという事態を回避することができる。

[0115] (第 3 実施形態)

次に、上述した制御システムを用いた基板処理装置 1 0 の各部材の異常の予兆の検知工程の第 3 実施形態について、具体的に説明する。なお、予兆検知コントローラ 8 2 等の構成や、非正常度を使っての異常予兆判断は、第 1、第 2 実施形態と同様とされている。

[0116] 本実施形態では、異常予兆検知対象の部材について交換またはメンテナンスが行われた場合に、交換またはメンテナンス後の正常モデルを作成し、当該正常モデルに基づいて基板処理装置 1 0 を監視して、異常予兆判断を行う。

[0117] 本実施形態では、異常予兆検知対象の部材についての交換またはメンテナンスが自動的に、または半自動的に検知される。例えば、異常予兆検知対象の部材が運転積算時間情報を有する場合には、運転積算時間情報を利用して部材交換を検知することができる。異常予兆検知対象の部材が具備する運転積算時間は、通常、不揮発性記憶媒体に保持されているので、当該部材の交換まで運転時間が積算され、交換により運転時間はリセットされる。したがって、異常予兆検知対象の部材が具備する運転積算時間を監視し、運転積算時間が減少した場合に、部材の交換があったことを検知することができる。

[0118] 具体的には、基板処理装置用コントローラ 5 8 は、異常予兆検知対象の部材の運転積算時間を所定時間ごとに予兆検知コントローラ 8 2 に送信し、予兆検知コントローラは、新たに送信された運転積算時間が、その前に記憶させておいた運転積算時間よりも短いかどうかを判断する。判断が肯定された場合には、当該部材の交換があったと判断することができる。

[0119] また、運転積算時間情報に代えて、異常予兆検知対象の部材が運転積算時間を具備しない場合でも、部材交換時における信号コネクタを外す作業を利

用して、部材交換を検知することができる。部材交換時における信号コネクタを外す作業では、当該部材の信号ラインがオープン（断線）になるので、当該部材の信号ラインがオープン（断線）になった場合に、次の当該信号ライン通電時に、交換またはメンテナンスがあったか否かの確認入力を作業者に促す。例えば、操作画面に確認入力を行わなければ他の作業を開始できないようにする。これにより、半自動的に当該部材の交換があったと判断することができる。

[0120] 異常予兆検知対象の部材についての交換またはメンテナンスがあったと判断された場合には、予兆検知コントローラ 82 は、予兆検知処理の一部として、異常予兆検知対象の部材についてのセンサデータを新たに取得して正常モデルを更新する。そして、更新された正常モデルに基づいて、非正常度を算出する。非正常度の算出、非正常度値を監視による予兆検知については、第 1、第 2 実施形態と同様に行うことができる。

[0121] ここで、真空ポンプ 74（図 2 参照）を交換した場合を例に、基板処理装置 10 の異常の予兆の検知方法について具体的に説明する。

[0122] 基板処理装置コントローラ 58 は、真空ポンプ 74 が交換されるまで、真空ポンプ 74 のセンサデータとして運転時間を取得すると、取得した真空ポンプ 74 の運転時間を積算しており、交換により運転時間（運転積算時間）をリセットするように構成されている。また、基板処理装置コントローラ 58 は、図 5 に示すように、予兆検知コントローラ 82 と接続されており、運転積算時間を所定時間ごとに予兆検知コントローラ 82 に送信している。なお、この真空ポンプ 74 の運転時間を積算した時間（運転積算時間）は、真空ポンプ 74 から運転時間を直接取得することにより、予兆検知コントローラ 82 で管理することもできる。

[0123] 予兆検知コントローラ 82 は、予兆検知処理の一部として、図 7 に示すように、基板処理装置コントローラ 58 から送信された運転積算時間を取得し（S10）、その前に記憶させておいた運転積算時間よりも短いかどうかを判断し（S12）、判断が肯定された場合には、真空ポンプ 74 の交換があ

ったと判断して、交換後の正常モデルの作成に必要なセンサデータを取得する（S14）。例えば、プロセスレシピの所定回数分のセンサデータ（例えば30Run分）を取得する。そして、取得したセンサデータに基づいて、正常モデルを作成する（S15）。例えば、プロセスレシピの所定回数分のセンサデータを使って平均値 μ 、標準偏差 σ を求め、正常時の各センサデータは正規分布 $N(\mu, \sigma)$ に従うと仮定し、これを正常モデルとする。得られた正常モデルに基づいて、非正常度を算出して（S16）、先に記憶されている非正常度のデータを算出された非正常度書き換える（S17）。そして、基板処理装置10を監視し（S18）、異常予兆判断を行う。非正常度の算出、非正常度値を監視については、第1、第2実施形態と同様に行うことができる。

[0124] 本実施形態によれば、異常予兆検知対象の部材についての交換またはメンテナンスが行われた後に、新たに正常モデルが作成されるので、適切な異常予兆検知を行う（異常の予兆が発生していることを検知する）ことができる。また、異常予兆検知対象の部材についての交換またはメンテナンスが自動的に、または半自動的に検知されるので、必要とされる監視対象の非正常値の変更を適切に行うことができる。

[0125] （第4実施形態）

次に、上述した制御システムを用いた基板処理装置10の各部材の異常予兆の検知工程の第4実施形態について、具体的に説明する。なお、予兆検知コントローラ82等の構成や、非正常度を使っての異常予兆判断は、第1～第3実施形態と同様とされている。

[0126] 本実施形態では、異常予兆検知対象の部材について交換またはメンテナンスが行われた場合に、交換またはメンテナンス後の正常モデルを新たに作成する前に、当該正常モデルを新たに作成するか、交換またはメンテナンス前の正常モデルを引き続き利用するかを判断を行う。異常予兆検知対象の部材についての交換またはメンテナンスを自動的に、または半自動的に検知する点については、第3実施形態と同様にして行う。

- [0127] 具体的には、異常予兆検知対象の部材についての交換またはメンテナンスがあったと判断された場合には、予兆検知コントローラ 8 2 は、正常モデルを作成するために必要とされるよりも少ないデータ量のセンサデータを取得する。そして、取得したセンサデータに基づいて、交換またはメンテナンス前の正常モデルを引き続き利用できるか否かの判断を行う。
- [0128] 交換またはメンテナンス前の正常モデルを引き続き利用できると判断した場合には、正常モデルを作成するために必要とされるセンサデータを取得することなく、交換またはメンテナンス前の正常モデルを利用する。したがって、非正常度の算出も不要であり、交換またはメンテナンス前と同一の非正常度値を監視して予兆検知を行う。
- [0129] 交換またはメンテナンス前の正常モデルを引き続き利用できないと判断した場合には、センサデータの取得をさらにを行い、正常モデルを作成するために必要とされるセンサデータを得て新たに正常モデルを作成する。そして、新たな正常モデルに基づいて、非正常度を算出し、新たな非正常度値を監視して予兆検知を行う。
- [0130] ここで、具体例として真空ポンプ 7 4（図 2 参照）を交換した場合を例に、基板処理装置 1 0 の異常予兆の検知方法について具体的に説明する。
- [0131] [具体例]
- 予兆検知コントローラ 8 2 は、図 8 に示されるように、基板処理装置コントローラ 5 8 から送信された運転積算時間を取得し（S 3 0）、その前に記憶させておいた運転積算時間よりも短いかどうかを判断し（S 3 2）、判断が肯定された場合には、真空ポンプ 7 4 の交換があったと判断して、交換前の正常モデルを利用可能か否かの判断を行うために必要なセンサデータ（判断用センサデータ）を取得する（S 3 3）。この判断用センサデータのデータ量は、正常モデルを作成するために必要なプロセスレシピの所定回数分のセンサデータ（例えば 3 0 R u n 分）のデータ量よりも少ない回数分のセンサデータ（例えば 1 0 R u n 分）となっている。そして、取得した判断用センサデータの分布が、交換前の正常モデルのデータ分布と等しいかどうかを

統計的に判断し、交換前の正常モデルを利用可能か否か判断する（S 3 4）

。

[0132] 統計的判断は、一例として以下のように行うことができる。

（１）交換前のデータ群と交換後のデータ群とについて、シャピロ・ウィルク検定で正規性を判定し、

（２）F 検定で交換前のデータ群と交換後のデータ群の分散が等しいかを判断し、

（３）前記（１）（２）の結果により、スチューデントの t 検定、ウィルチの t 検定、マン・ホイットニーの U 検定、のいずれかで、平均値（代表値）の差の検定を行う。

[0133] 取得したセンサデータの分布が、交換前の正常モデルのデータ分布と等しい場合には、交換前の正常モデルを利用可能と判断され（Y）、正常モデルを作成するために必要とされるセンサデータを取得することなく、交換前の正常モデルによる非正常度値を監視して（S 3 9）予兆検知を行う。

[0134] 取得したセンサデータの分布が、交換前の正常モデルのデータ分布と等しくない場合には、交換前の正常モデルを利用不可と判断され（N）、センサデータの取得をさらに行い（S 3 5）、正常モデルを作成するために必要とされるセンサデータを得て新たに正常モデルを作成する（S 3 6）。得られた正常モデルに基づいて、非正常度を算出して（S 3 7）、先に記憶されている非正常度のデータを算出された非正常度書き換える（S 3 8）。そして、基板処理装置 1 0 を監視し（S 3 9）、異常予兆判断を行う。非正常度の算出、非正常度値を監視については、第 1、第 2 実施形態と同様に行うことができる。

[0135] 本実施形態によれば、異常予兆検知対象の部材についての正常モデルを作成するために要するセンサデータよりも少ない量のセンサデータ取得により、部材の交換またはメンテナンス前の正常モデルを利用可能かどうか判断する。したがって、正常モデルの作成により異常予兆検知のための監視が停止される時間を短縮することができる。

[0136] (作用、効果)

上記実施形態によれば、基板処理装置 10 が、部材の異常予兆を検知する制御システムを備えているため、制御システムによって部材の異常の予兆を検知した時点で、その部材を交換又はメンテナンスすることができる。特に、真空ポンプ 74 の故障予兆検知に関しては、真空ポンプ 74 の電流データ、温度データ、排気圧データ、及び振動データ等のセンサデータを継続的に監視することで、異常の予兆の確度を上げることが可能となる。

[0137] これにより、部材が故障する前に交換等の対処をすることができるとともに、部材を故障する直前まで使用することで交換頻度を下げることができる。また、基板処理中の故障を防ぐことで、装置稼働率の向上、製品（基板 16）の歩留まり低下防止、及び無駄なメンテナンス時間の削減が可能となる。

[0138] また、上記実施形態によれば、異常予兆を検知する予兆検知コントローラ 82 が、基板処理装置用コントローラ 58 に接続されている。このため、異常の予兆を検知し易い特定の基板処理シーケンスに限定して、データを取得、分析することが可能となる。

[0139] また、異常予兆検知対象の部材の交換及びメンテナンス後であっても、適切な正常モデルを用いて、異常予兆検知対象の部材の異常の予兆を検知することができる。

[0140] (その他の実施形態)

以上、本開示の実施形態を具体的に説明したが、本開示は上述の実施形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能である。

[0141] 例えば、上述の実施形態では、基板 16 上に薄膜を形成する例について説明した。しかし、本開示はこのような態様に限定されず、例えば基板 16 上に形成された薄膜等に対して、酸化処理、拡散処理、アニール処理、及びエッチング処理等の処理を行う場合にも、好適に適用可能である。

[0142] また、本実施形態では、ホットウォール型の処理炉 44 を有する基板処理

装置 10 を用いて薄膜を形成する例について説明したが、本開示はこれに限定されず、コールドウォール型の処理炉を有する基板処理装置を用いて薄膜を成膜する場合にも、好適に適用できる。さらに、上述の実施形態では、一度に複数枚の基板 16 を処理するバッチ式の基板処理装置 10 を用いて薄膜を形成する例について説明したが、本開示はこれに限定されない。

[0143] また、本開示は、上述の実施形態に係る基板処理装置 10 のような半導体基板を処理する半導体製造装置等に限らず、ガラス基板を処理する LCD (Liquid Crystal Display) 製造装置にも適用することができる。

符号の説明

- [0144] 10 基板処理装置
16 基板
58 基板処理装置用コントローラ（主制御部の一例）
74 真空ポンプ
82 予兆検知コントローラ（予兆検知部の一例）
86 処理室
 μ 平均値
 σ 標準偏差

請求の範囲

- [請求項1] 異常予兆検知対象の部材に関するセンサデータを取得して正常モデルを作成し、該正常モデルに基づいて装置の状態を監視する基板処理装置であって、
- 前記異常予兆検知対象の部材の交換またはメンテナンス後に、前記センサデータを取得して該センサデータから前記正常モデルを再作成し、
- 該正常モデルに基づいて前記装置の状態を監視して、前記装置が異常停止する前に異常の予兆を検知するように構成されている予兆検知部を備えた基板処理装置。
- [請求項2] 前記予兆検知部は、
- 前記正常モデルの作成に必要なデータ量よりも少ないデータ量の前記センサデータに基づいて、前記交換またはメンテナンス後の正常モデルとして前記交換またはメンテナンス前の前記正常モデルを使用可能か否かを判断する、
- 請求項1に記載の基板処理装置。
- [請求項3] 前記予兆検知部は、
- 前記交換またはメンテナンス後の前記正常モデルとして前記交換またはメンテナンス前の前記正常モデルを使用可能と判断した場合には、前記交換またはメンテナンス前の前記正常モデルを前記交換またはメンテナンス後の正常モデルとして使用し、
- 前記交換またはメンテナンス後の正常モデルとして前記交換またはメンテナンス前の前記正常モデルを使用不可と判断した場合には、前記センサデータを取得して前記センサデータから前記交換またはメンテナンス後の前記正常モデルを作成する、
- 請求項2に記載の基板処理装置。
- [請求項4] 更に、複数のステップを含むプロセスレシピを実行させて、基板に所定の処理を施すよう制御する主制御部を有し、

前記予兆検知部は、

前記プロセスレシピを実行しつつ、前記センサデータを収集し、

収集された前記センサデータから、前記プロセスレシピを構成する各ステップのうちの指定ステップにおける前記センサデータのうち、振動センサにより検出される振動データを取得し、

取得した前記振動データを振動周波数スペクトルに変換し、

変換された前記振動周波数スペクトルを所定の周波数間隔で抽出し、抽出した周波数毎に、正常時の前記プロセスレシピの所定回数分のデータを使って前記振動周波数スペクトルの振幅の平均値と標準偏差を計算し、得られた前記振動周波数スペクトルの振幅の平均値と標準偏差を用いて正常モデルを作成する、ように構成されている、

請求項 1 に記載の基板処理装置。

[請求項5]

前記指定ステップは、前記基板を処理する処理室の圧力を大気圧から所定圧力まで減圧

させるステップである請求項 4 に記載の基板処理装置。

[請求項6]

前記予兆検知部は、

前記振動周波数スペクトルの振幅の平均値と標準偏差を用いて前記正常モデルを作成し、前記抽出した周波数分、前記正常モデルの振幅値と予め決められた閾値を比較し、所定の個数以上の周波数の前記振幅値が前記閾値を外れた場合、異常予兆有と判断する、

請求項 4 に記載の基板処理装置。

[請求項7]

前記予め決められた閾値は、前記平均値と前記標準偏差を用いて、前記標準偏差を 3 倍した数値を前記平均値に加算又は減算した範囲で算出される、

請求項 6 に記載の基板処理装置。

[請求項8]

前記予兆検知部は、

異常予兆有と判断した場合、アラームを発生させるとともに、異常の予兆が認められた部材のセンサデータを画面に表示する請求項 6 に

記載の基板処理装置。

[請求項9] 前記異常予兆検知対象の部材が、基板を処理する処理室の雰囲気を排気する排気装置の場合、

前記予兆検知部は、

前記振動センサで検出される振動データ、前記排気装置の電流データ、前記排気装置の温度データ、及び前記排気装置の排気圧データよりなる群から選択される少なくとも一つの前記センサデータを取得して前記正常モデルを作成するように構成されている、

請求項4に記載の基板処理装置。

[請求項10] 複数のステップを含むプロセスレシピを実行させて、基板に所定の処理を施す基板処理工程を有する半導体装置の製造方法であって、

前記基板処理工程は、異常予兆検知対象の部材の交換またはメンテナンス後に前記異常予兆検知対象の部材に関するセンサデータを取得して正常モデルを再作成する工程と、

該正常モデルに基づいて装置の状態を監視して、装置が異常停止する前に異常の予兆を検知する工程と、

を更に有する半導体装置の製造方法。

[請求項11] 異常予兆検知対象の部材に関するセンサデータを取得して正常モデルを作成し、前記正常モデルに基づいて装置の状態を監視する基板処理装置で実行される予兆検知プログラムであって、

前記異常予兆検知対象の部材の交換またはメンテナンス後に、前記センサデータを取得し、該取得した前記センサデータから正常モデルを再作成する手順と、

作成した前記正常モデルに基づいて前記装置の状態を監視して前記装置の異常の予兆を検知する手順と、

をコンピュータにより前記基板処理装置に実行させる予兆検知プログラム。