

【書類名】明細書

【発明の名称】半導体製造装置の制御装置および制御方法

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、半導体製造装置の制御装置および制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

ウェハの表面を研磨装置により研磨する場合において、ストッパ層上に形成された被加工層を研磨する際には、何らかの方法で研磨の終点（変化点）を検知することで研磨を終了する。例えば、研磨の終点を研磨音を用いて検知する方法がある。この場合、研磨の終点を精度よく検知するためには、研磨音を適切に収集することが求められる。これは、基板を研磨装置以外の半導体製造装置により加工する際に、基板の加工の変化点を加工音を用いて検知する場合にも同様である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2003-86551号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

基板の加工の変化点を加工音を用いて精度よく検知可能な半導体製造装置の制御装置および制御方法を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0005】

一の実施形態によれば、半導体製造装置の制御装置は、半導体製造装置による基板の加工音を収集する音収集部を備える。前記制御装置はさらに、前記加工音のパワースペクトルの変化量を算出する変化量算出部を備える。前記制御装置はさらに、前記変化量に基づいて、前記基板の加工の変化点を判定する変化点判定部を備える。

【図面の簡単な説明】

【0006】

【図1】第1実施形態の半導体製造システムの構成を模式的に示す断面図である。

【図2】第1実施形態の終点検知方法を説明するためのグラフである。

【図3】第1実施形態の終点検知方法を示すフローチャートである。

【図4】第1実施形態の制御装置の構成を示すブロック図である。

【図5】第2実施形態の半導体製造システムの構成を模式的に示す断面図である。

【図6】第2実施形態の終点検知方法を示すフローチャートである。

【図7】第2実施形態の制御装置の構成を示すブロック図である。

【図8】第3実施形態の終点検知方法を説明するためのグラフである。

【図9】第3実施形態の終点検知方法を説明するための別のグラフである。

【図10】第3実施形態の終点検知方法を示すフローチャートである。

【図11】第3実施形態の制御装置の構成を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0007】

以下、本発明の実施形態を、図面を参照して説明する。

【0008】

（第1実施形態）

図1は、第1実施形態の半導体製造システムの構成を模式的に示す断面図である。

【0009】

図1の半導体製造システムは、ウェハ（基板）11の表面を研磨パッド12により研磨する研磨装置1と、研磨装置1の動作を制御する制御装置2とを備えている。研磨装置1

は、研磨ヘッド13と、駆動部14と、研磨テーブル15と、回転部16と、スラリ供給部17と、音響センサ18とを備えている。研磨装置1は、半導体製造装置の例である。制御装置2は、半導体製造装置の制御装置の例である。本実施形態の研磨装置1は、CMP (Chemical Mechanical Polishing) 装置である。

#### 【0010】

図1は、研磨装置1の設置面に平行で互いに垂直なX方向およびY方向と、研磨装置1の設置面に垂直なZ方向とを示している。本明細書においては、+Z方向を上方向として取り扱い、-Z方向を下方向として取り扱う。例えば、ウェハ11と研磨パッド12との位置関係は、研磨パッド12がウェハ11の下方に位置していると表現される。なお、本実施形態の-Z方向は、重力方向と一致していてもよいし、重力方向と一致していなくてもよい。

#### 【0011】

研磨ヘッド13は、ウェハ11を下向きに保持する。駆動部14は、研磨ヘッド13に連結されており、研磨ヘッド13を駆動する。研磨テーブル15は、研磨パッド12を上向きに保持する。回転部16は、研磨テーブル15に連結されており、研磨テーブル15を回転させる。スラリ供給部17は、研磨パッド12の表面にスラリを供給する。

#### 【0012】

研磨装置1は、ウェハ11を駆動部14により回転させ、研磨パッド12を回転部16により回転させ、研磨パッド12の表面にスラリ供給部17からスラリを供給する。矢印R1は、ウェハ11や研磨ヘッド13の回転方向を示す。矢印R2は、研磨パッド12や研磨テーブル15の回転方向を示す。そして、研磨装置1は、ウェハ11を駆動部14により研磨パッド12に押し付ける。その結果、ウェハ11の表面が研磨パッド12により研磨される。研磨ヘッド13、駆動部14、研磨テーブル15、回転部16、およびスラリ供給部17の動作は、制御装置2により制御される。

#### 【0013】

音響センサ18は、研磨装置1によるウェハ11の研磨音を集音し、研磨音の集音結果を制御装置2に出力する。音響センサ18は、例えばマイクロフォンである。研磨音は、半導体製造装置による基板の加工音の例である。音響センサ18の動作は、制御装置2により制御される。

#### 【0014】

図2は、第1実施形態の終点検知方法を説明するためのグラフである。

#### 【0015】

図2(a)は、時間 $t_1$ における研磨音のパワースペクトルを示している。図2(a)の横軸は、研磨音の周波数を示す。図2(a)の縦軸は、研磨音のパワースペクトル、すなわち、各周波数における研磨音のパワーを示す。制御装置2は、音響センサ18から研磨音を収集し、収集された研磨音に基づいて時間 $t_1$ のパワースペクトルを算出する。制御装置2は、時間 $t_1$ 以外のパワースペクトルも同様に算出する。

#### 【0016】

図2(b)は、時間 $t_1$ と時間 $t_2$ との間における研磨音のパワースペクトルの変化量を示している。図2(b)の横軸は、研磨音の周波数を示す。図2(b)の縦軸は、研磨音のパワースペクトルの変化量、すなわち、各周波数における研磨音のパワーの変化量を示す。制御装置2は、時間 $t_1$ のパワースペクトルから時間 $t_2$ のパワースペクトルを引くことで、時間 $t_1 \sim t_2$ のパワースペクトルの変化量を算出する。また、制御装置2は、時間 $t_1$ と時間 $t_2$ との差を単位時間に設定することで、単位時間あたりのパワースペクトルの変化量を算出することができる。制御装置2は、時間 $t_1 \sim t_2$ 以外の変化量も同様に算出する。

#### 【0017】

図2(c)は、時間 $t_1 \sim t_2$ のパワースペクトルの変化量における信号周波数帯域 $R_s$ とノイズ周波数帯域 $R_N$ とを示している。制御装置2は、信号周波数帯域 $R_s$ において研磨音のパワーの変化量の平均をとることで、信号周波数帯域 $R_s$ におけるパワースペクトル

ルの変化量の平均値を算出する。信号周波数帯域 $R_S$ は第1の周波数帯域の例であり、この平均値は第1の値の例である。制御装置2はさらに、ノイズ周波数帯域 $R_N$ において研磨音のパワーの変化量の平均をとることで、ノイズ周波数帯域 $R_N$ におけるパワースペクトルの変化量の平均値を算出する。ノイズ周波数帯域 $R_N$ は第2の周波数帯域の例であり、この平均値は第2の値の例である。制御装置2は、時間 $t_1 \sim t_2$ 以外の平均値も同様に算出する。

#### 【0018】

図2(d)は、研磨音の $S/N$ 比(信号雑音比)の時間変化を示している。図2(d)の横軸は、時間を示す。図2(d)の縦軸は、単位時間あたりの $S/N$ 比を示す。制御装置2は、信号周波数帯域 $R_S$ における上記平均値をノイズ周波数帯域 $R_N$ における上記平均値で割ることで、単位時間あたりの $S/N$ 比を算出する。例えば、時間 $t_2$ における単位時間あたりの $S/N$ 比は、時間 $t_1 \sim t_2$ の平均値から時間 $t_1 \sim t_2$ の $S/N$ 比を算出し、時間 $t_1$ と時間 $t_2$ との差を単位時間に設定することで算出される。

#### 【0019】

制御装置2は、この $S/N$ 比に基づいて、ウェハ11の研磨の終点を判定する。具体的には、制御装置2は、ある時間 $t$ に $S/N$ 比が閾値に達した場合に、その時間 $t$ を研磨の終点であると判定する(図2(d)の囲み線Pを参照)。このように、制御装置2は、研磨音のパワースペクトルの変化量に基づいて、研磨の終点を検知することができる。制御装置2は、研磨の終点を検知した場合、ウェハ11の研磨を終了するように研磨装置1の動作を制御する。例えば、制御装置2は、研磨の終点を検知した場合、ウェハ11を持ち上げて研磨パッド12から引き離す。

#### 【0020】

なお、制御装置2の機能に関し、研磨音を収集する機能は、音収集部の例である。上記の変化量、平均値、 $S/N$ 比を算出する機能は、変化量算出部の例である。研磨の終点を判定する機能は、変化点判定部の例である。研磨を終了するように研磨装置1を制御する機能は、終了制御部の例である。これらの機能の詳細は、図3や図4を参照して説明することにする。

#### 【0021】

図3は、第1実施形態の終点検知方法を示すフローチャートである。この方法は、制御装置2により実行される。

#### 【0022】

まず、研磨装置1によるウェハ11の研磨を開始する(ステップS11)。次に、音響センサ18からウェハ11の研磨音を収集する(ステップS12)。次に、収集された研磨音に対し周波数分析(FFT)と時間周波数解析とを行う(ステップS13、S14)。その結果、図2(a)に示すような研磨音のパワースペクトルが算出される。

#### 【0023】

次に、単位時間あたりのパワースペクトルの変化量を算出する(ステップS21)。この変化量の例は、図2(b)に示す通りである。本実施形態の単位時間は、周波数分析の際の時間分解の間隔である。

#### 【0024】

次に、信号周波数帯域 $R_S$ とノイズ周波数帯域 $R_N$ において、パワースペクトルの変化量を平均化する(ステップS22)。その結果、信号周波数帯域 $R_S$ における変化量の平均値と、ノイズ周波数帯域 $R_N$ における変化量の平均値が算出される。信号周波数帯域 $R_S$ とノイズ周波数帯域 $R_N$ の例は、図2(c)に示す通りである。本実施形態の平均化の方法は、単純移動平均でもよいし、その他の方法でもよい。

#### 【0025】

ウェハ11の研磨が終点に達すると、特徴的な周波数を有する研磨音がウェハ11から発生する。そこで、本実施形態の制御装置2は、特徴的な周波数やその付近の周波数を有する研磨音を信号として検知し、その他の周波数を有する研磨音をノイズとして検知した後、これらの信号とノイズに基づいて $S/N$ 比を算出し、 $S/N$ 比に基づいて研磨の終点

を判定する。理由は、ウェハ11の研磨が終点に達すると、研磨音に占める信号の割合が大きくなり、S/N比が高くなるからである。本実施形態では、特徴的な周波数を含む帯域を信号周波数帯域 $R_S$ として設定し、その他の帯域をノイズ周波数帯域 $R_N$ として設定し、これらの帯域を利用してS/N比を算出する。

【0026】

ただし、特徴的な周波数は、ウェハ11の種類によって異なる。例えば、ウェハ11上のシリコン酸化膜を研磨する場合の特徴的な周波数と、ウェハ11上のシリコン窒化膜を研磨する場合の特徴的な周波数は、互いに異なる。そこで、本実施形態では、ウェハ11の種類ごとに信号周波数帯域 $R_S$ の上限および下限を、データベースにあらかじめ保存しておく。本実施形態の制御装置2は、あるウェハ11を研磨する場合に、そのウェハ11の識別情報を取得し、識別情報に対応する上限および下限を読み出し、上限および下限に基づいて信号周波数帯域 $R_S$ を設定し、その他の帯域をノイズ周波数帯域 $R_N$ として設定する。識別情報は、基板に関する情報の例である。

【0027】

次に、信号周波数帯域 $R_S$ における平均値と、ノイズ周波数帯域 $R_N$ における平均値とに基づいて、単位時間あたりのS/N比を計算する(ステップS23)。S/N比の例は、図2(d)に示す通りである。

【0028】

次に、S/N比に基づいて研磨の変化点を抽出し、この変化点を研磨の終点であると判定する(ステップS24、S25)。具体的には、S/N比が閾値に達する時間 $t$ を変化点として抽出し、この時間 $t$ を研磨の終点であると判定する。研磨の終点が検知された場合には、研磨装置1によるウェハ11の研磨を終了する(ステップS26)。

【0029】

その後、制御装置2は、ステップS11～S26の処理を、1ロットのすべてのウェハ11に対して繰り返し実行する(ステップS27)。この際、同じロットのウェハ11同士は一般に同じ特徴的な周波数を有するため、これらのウェハ11に対するステップS22は通常、同じ上限および下限を使用して実行される。こうして、1ロットのウェハ11の研磨が実行される。

【0030】

研磨の終点は、例えばトルク電流値を用いて検知されることがある。この場合、電流値の微分前と微分後に電流値を平滑化することで、終点の検知精度を向上させることができる。一方、研磨音を用いて終点を検知する場合には、研磨音に信号とノイズが混在しているため、この場合にも研磨音の平滑化処理(移動平均処理)が行われることが多い。しかしながら、研磨音の平滑化処理を行うと、終点の検知が遅れる可能性や、終点を検知できない可能性がある。

【0031】

そこで、本実施形態では、研磨音のパワースペクトルの変化量に基づいて、研磨の終点を判定する。例えば、本実施形態によれば、この変化量から単位時間あたりのS/N比を算出し、単位時間あたりのS/N比を用いて終点を判定することで、平滑化処理を用いずに終点を検知することが可能となる。よって、本実施形態によれば、終点の検知が遅れる可能性や、終点を検知できない可能性を低減することができ、終点を短時間で確実に検知することができる。

【0032】

図4は、第1実施形態の制御装置2の構成を示すブロック図である。

【0033】

制御装置2は、図4に示すように、音収集部21と、特徴抽出部22と、終点判定部23と、出力部24と、周波数帯域判断部25と、記録部26とを備えている。

【0034】

音収集部21は、ステップS12の処理を実行する。よって、音収集部21は、音響センサ18からウェハ11の研磨音を収集する。

**【0035】**

特徴抽出部22は、ステップS13～S23の処理を実行する。よって、特徴抽出部22は、上記のパワースペクトル、変化量、平均値、S/N比を算出する。

**【0036】**

終点判定部23は、ステップS24、S25の処理を実行する。よって、終点判定部23は、S/N比に基づいて研磨の変化点を抽出し、この変化点を研磨の終点であると判定する。

**【0037】**

出力部24は、ステップS11、S26の処理を実行する。よって、出力部24は、ウェハ11の研磨を開始および終了するように研磨装置1を制御する。出力部24は、終点判定部23により研磨の終点が検知された場合に、研磨装置1によるウェハ11の研磨を終了する。

**【0038】**

周波数帯域判断部25は、特徴抽出部22からの要求に応じて、信号周波数帯域 $R_S$ とノイズ周波数帯域 $R_N$ の設定情報を特徴抽出部22に出力する。具体的には、周波数帯域判断部25は、研磨対象のウェハ11の識別情報を特徴抽出部22から取得すると、このウェハ11の信号周波数帯域 $R_S$ とノイズ周波数帯域 $R_N$ を設定するためのマスタ情報を記録部26から読み出し、マスタ情報に対応する設定情報を特徴抽出部22に出力する。マスタ情報の例は、信号周波数帯域 $R_S$ の上限および下限である。

**【0039】**

識別情報は、ウェハ11を識別可能であれば、どのような情報でもよい。識別情報の例は、ウェハ11から製造予定の製品のレシピ情報である。

**【0040】**

マスタ情報の上限および下限は、研磨装置1によるウェハ11の研磨音をあらかじめ収集し、研磨の終点でパワースペクトルが最も大きく変化する周波数帯域をピックアップすることで設定可能である。このような周波数帯域は例えば、パワースペクトルの標準偏差を時間ごとに記録し、ウェハ11の研磨レートから終点の時間帯をおおまかに推定し、この時間帯の標準偏差の変化を調査することでピックアップ可能である。

**【0041】**

マスタ情報の上限および下限は、1種類のウェハ11に対し1種類だけ存在してもよいし、1種類のウェハ11に対して複数種類存在してもよい。後者の場合、制御装置2は、あるウェハ11を研磨する際に、研磨装置1の状態や環境に応じてそのウェハ11の研磨用の上限および下限を自動的に選択してもよい。これは、その他のマスタ情報についても同様である。

**【0042】**

記録部26は例えば、過去に研磨されたウェハ11や今後研磨予定のウェハ11の識別情報やマスタ情報を記録するために使用される。制御装置2は、識別情報やマスタ情報を新規登録、更新、編集するための入出力部を備えていてもよい。本実施形態の制御装置2は、あるウェハ11の識別情報を取得すると、識別情報に基づいてこのウェハ11のマスタ情報を自動的に特定し、このウェハ11の信号周波数帯域 $R_S$ とノイズ周波数帯域 $R_N$ をマスタ情報に基づいて自動的に設定することができる。よって、本実施形態では、研磨対象のウェハ11の種類が切り替わった場合、ユーザがこの切り替えを意識することなく信号周波数帯域 $R_S$ とノイズ周波数帯域 $R_N$ を変更することができる。

**【0043】**

以上のように、本実施形態では、研磨音のパワースペクトルの変化量に基づいて、研磨の終点を判定する。よって、本実施形態によれば、研磨の終点を研磨音を用いて迅速かつ確実に検知することが可能となる。

**【0044】**

(第2実施形態)

図5は、第2実施形態の半導体製造システムの構成を模式的に示す断面図である。

**【0045】**

図5の半導体製造システムは、研磨装置1と、制御装置2とを備えている。研磨装置1は、図1に示す構成要素に加え、校正用スピーカ19を備えている。

**【0046】**

校正用スピーカ19は、音響センサ18の校正用の基準音（試験音）を発生させる。校正用スピーカ19の動作は、制御装置2により制御される。音響センサ18は、研磨音および基準音を集音し、これらの音の集音結果を制御装置2に出力する。これらの音の集音結果は、制御装置2の音収集部21により収集される。制御装置2は、収集された基準音に基づいて、音響センサ18を校正する。

**【0047】**

音響センサ18を基準音により校正する場合、基準音の音圧を校正に利用することが考えられる。この場合、所定の音圧を有する基準音を校正用スピーカ19から発生させ、基準音を音響センサ18により集音し、集音された基準音の音圧が規定の音圧であるか否かを制御装置2にて判断することで、音響センサ18を校正する。しかしながら、集音される音圧は、研磨装置1の状態、研磨装置1の環境、研磨音の周波数などにより変化する。そのため、音響センサ18を音圧により校正する場合、正確な校正が難しく、終点検知の精度が低下する可能性がある。また、研磨の終点を研磨音のパワースペクトルに基づいて検知する場合には、研磨音の周波数を正確に検知することが求められる。

**【0048】**

そこで、本実施形態では、基準音の周波数を校正に利用する。具体的には、所定の周波数を有する基準音を校正用スピーカ19から発生させ、基準音を音響センサ18により集音し、集音された基準音の周波数が規定の周波数であるか否かを制御装置2にて判断することで、音響センサ18を校正する。これにより、正確な校正を行い、終点検知の精度を向上させることが可能となる。

**【0049】**

なお、音響センサ18を音圧により校正する場合には、基準音の周波数は可聴域の周波数に設定することが多い。一方、研磨の終点において特徴的な周波数は、可聴域の周波数よりも高いことがあり、例えば10kHz以上となり得る。この場合、終点検知のために音響センサ18を校正する際には、基準音の周波数は可聴域の周波数よりも高く設定する必要がある。これにより、終点検知に適した校正を行うことが可能となり、終点検知時の周波数の測定誤差を低減することが可能となる。

**【0050】**

本実施形態の基準音の周波数は、1種類でも複数種類でもよいし、ある帯域に広がっていてもよい。また、基準音の周波数は、研磨装置1の状態や環境の変化に応じて変更してもよい。これにより、終点検知が行われる状態や環境で校正を行うことが可能となり、終点検知時の周波数の測定誤差をさらに低減することが可能となる。

**【0051】**

図6は、第2実施形態の終点検知方法を示すフローチャートである。この方法は、制御装置2により実行される。

**【0052】**

まず、ウェハ11の研磨を開始する前に、校正用スピーカ19から基準音を発生させ、音響センサ18から基準音を収集する（ステップS1）。本実施形態の制御装置2は、研磨装置1の状態や環境に応じて信号周波数帯域 $R_s$ の上限および下限を自動で選択し、上限および下限に応じて基準音の周波数を自動で選択し、この基準音を一定音圧で一定時間だけ発生させる。研磨装置1の状態や環境の例は、研磨装置1の周囲の温度や、研磨装置1の集音条件である。基準音の周波数の例は、上限に相当する周波数、下限に相当する周波数、上限と下限との中間の周波数などである。

**【0053】**

制御装置2は、ステップS1にて、基準音の周波数をN種類（Nは2以上の整数）選択してもよい。この場合、制御装置2は、N種類の周波数の基準音を順番に発生させる。各

周波数の基準音は、上記の一定時間だけ出力される。また、N種類の周波数の基準音は、 $\Delta t$ の間隔で順番に出力される。すなわち、ある基準音の出力が時間  $t$  に終了したら、次の基準音の出力が時間  $t + \Delta t$  に開始される。

【0054】

次に、収集された基準音の周波数分析 (FFT) を行う (ステップ S 2)。その結果、基準音のパワースペクトルが算出される (ステップ S 3)。N種類の周波数の基準音が出力された場合には、 $\Delta t$ の分解能で周波数分析が行われる。パワースペクトルの例は、デシベル (dB) 値である。

【0055】

次に、基準音のパワースペクトルに基づいて、音響センサ 18 を校正する (ステップ S 4)。本実施形態の制御装置 2 は、基準音のパワースペクトルから基準音の周波数の測定値を取得し、基準音の周波数の設定値を記録部 26 (図 4 参照) から読み出し、これらの測定値および設定値に基づいて音響センサ 18 を校正する。

【0056】

例えば、基準音の周波数の測定値は、基準音のパワースペクトルが最大となる周波数を特定することで取得可能である。また、基準音の周波数の設定値は、ステップ S 1 で選択された周波数である。

【0057】

また、制御装置 2 は、測定値が設定値と等しくなるように音響センサ 18 を校正する。本実施形態では、音響センサ 18 内の設定を変更して測定値を変化させることで、音響センサ 18 を校正してもよいし、記録部 26 内の設定値を測定値に更新して設定値を変化させることで、音響センサ 18 を校正してもよい。本実施形態の制御装置 2 は、後者の方法で音響センサ 18 を校正する。後者の方法には、音響センサ 18 内の設定を変更するために音響センサ 18 を研磨装置 1 から取り外す必要がなく、音響センサ 18 を簡単に校正できるという利点がある。

【0058】

なお、制御装置 2 の機能に関し、基準音の周波数の測定値を取得する機能は、取得部の例である。基準音の周波数の設定値を読み出す機能は、読出部の例である。音響センサ 18 を校正する機能は、校正部の例である。これらの機能の詳細は、図 7 を参照して後述することにする。

【0059】

次に、音響センサ 18 の校正值を記録部 26 に記録する (ステップ S 5)。本実施形態の校正值は、基準値の周波数の測定値であり、新たな設定値として記録される。また、本実施形態では、新たな設定値に基づいて、信号周波数帯域  $R_s$  の上限および下限などのマスタ情報も更新される。例えば、設定値が 20 Hz だけ増加した場合には、信号周波数帯域  $R_s$  の上限および下限も 20 Hz だけ増加される。

【0060】

なお、制御装置 2 は、ステップ S 1 において、音響センサ 18 から校正時のバックグラウンドの暗騒音も収集してもよい。この場合、制御装置 2 は、ステップ S 2 において、基準音と暗騒音との差分を計算し、この差分について周波数分析を行う。これにより、暗騒音が存在する環境でも精度の高い校正を行うことが可能となる。

【0061】

その後、本実施形態では、第 1 実施形態と同様にステップ S 11 ~ S 27 の処理が実行される。この際、ステップ S 22 は、更新後の上限および下限を使用して実行される。なお、1 ロット分のウェハ 11 の研磨中に上限および下限の設定を変更する場合には、設定変更前にステップ S 1 ~ S 5 の処理を再度実行してもよい。

【0062】

図 7 は、第 2 実施形態の制御装置 2 の構成を示すブロック図である。

【0063】

制御装置 2 は、図 7 に示すように、音収集部 21 と、記録部 26 と、校正部 31 と、装

置状態判断部32と、入出力部33とを備えている。なお、本実施形態の制御装置2は、第1実施形態の制御装置2と同様に、特徴抽出部22、終点判定部23、出力部24、および周波数帯域判断部25も備えているが、これらの構成要素の図示は省略した。

#### 【0064】

ステップS1において、装置状態判断部32は、校正用スピーカ19から基準音を発生させ、音収集部21は、音響センサ18から基準音を収集する。この際、装置状態判断部32は、研磨装置1の状態や環境に応じて信号周波数帯域 $R_s$ の上限および下限を自動で選択し、上限および下限に応じて基準音の周波数を自動で選択し、この基準音を一定音圧で一定時間だけ発生させる。

#### 【0065】

装置状態判断部32はさらに、ステップS2、S3の処理を実行する。よって、装置状態判断部32は、基準音の周波数分析を行い、基準音のパワースペクトルを算出する。また、校正部31は、ステップS4、S5の処理を実行する。よって、校正部31は、音響センサ18を校正し、音響センサ18の校正値を記録部26に記録する。

#### 【0066】

装置状態判断部32は、研磨装置1の状態や環境の変化を判断する。例えば、装置状態判断部32は、研磨対象のウェハ11の識別情報に基づいて、基準音の周波数の設定値を記録部26から読み出す。この設定値は、ステップS1で基準音を発生させる際や、ステップS4で音響センサ18を校正する際に使用される。また、装置状態判断部32は、研磨装置1の部材が変更された旨の情報を研磨装置1から取得し、この情報に基づいて、記録部26から読み出す設定値を選択する。

#### 【0067】

記録部26には、研磨装置1の状態や環境の変化と研磨音の特徴的な周波数との関係がマスタ情報としてあらかじめ登録されている。入出力部33は、マスタ情報を新規登録、更新、編集するために使用される。

#### 【0068】

以上のように、本実施形態では、音響センサ18から収集された基準音の周波数に基づいて、音響センサ18を校正する。よって、本実施形態によれば、音響センサ18を正確に校正し、終点検知の精度を向上させることが可能となる。

#### 【0069】

(第3実施形態)

図8は、第3実施形態の終点検知方法を説明するためのグラフである。第3実施形態の終点検知方法は、図1の半導体製造システム内の制御装置2により実行される。

#### 【0070】

図8(a)の曲線C1、C2、C3はそれぞれ、時間 $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$ における研磨音のパワースペクトルを示している。図8(a)の横軸は、研磨音の周波数を示す。図8(a)の縦軸は、研磨音のパワースペクトルを示す。図8(a)の奥行き方向の軸は、時間を示す。

#### 【0071】

制御装置2は、所定の周波数帯域Rにおいてパワースペクトルの変化量の平均値を算出し、平均値に基づいてS/N比を算出し、S/N比に基づいて終点を判定することが可能である。周波数帯域Rは、ウェハ11の研磨が終点に達した際にウェハ11から発生する研磨音の特徴的な周波数を含むように設定されている。符号 $f_1$ は、周波数帯域Rの下限の周波数を示す。符号 $f_2$ は、周波数帯域Rの上限の周波数を示す。制御装置2は、周波数帯域Rに絞ってパワースペクトルの変化量の平均値を算出し、この平均値を時間軸上で信号時間帯の平均値とノイズ時間帯の平均値とに分け、これらの平均値に基づいてS/N比を算出する。

#### 【0072】

ウェハ11は例えば、半導体基板と、半導体基板上のストッパ層と、ストッパ層上の被加工層とを備える。この場合、制御装置2は、被加工層を研磨するように研磨装置1を制御し、被加工層が除去されてストッパ層が露出したタイミングを終点として取り扱う。研



磨が終点に達すると、被加工層とストップ層との選択比の違いにより、研磨音のパワースペクトルに特徴的な変化が生じる。例えば、ある周波数のパワースペクトルが終点において極大または極小に達する。周波数帯域Rは、この周波数を含むように設定される。

#### 【0073】

図8(b)は、この周波数のパワースペクトルを示している。図8(b)の横軸は、時間を示す。図8(b)の縦軸は、研磨音のパワースペクトルを示す。符号Uは、パワースペクトルの極大を示す。符号Vは、パワースペクトルの極小を示す。図8(b)では、時間tに研磨が終点に達し、時間tにパワースペクトルが極小Vに達している。

#### 【0074】

この特徴的な周波数（または周波数帯域）は、研磨装置1の本体の状態や、研磨パッド12や研磨ドレッサなどの消耗部材の状態により変化する可能性がある。例えば、周波数が高周波側または低周波側に変化したり、周波数帯域が広帯域または狭帯域に変化する。そのため、周波数帯域Rを固定すると、終点検知の精度がウェハ11ごとにばらつき、正確な終点検知が困難となる可能性がある。

#### 【0075】

そこで、本実施形態の制御装置2は、あるウェハ11（第1のウェハ11）を研磨する際に、周波数帯域Rを第1の帯域 $\Delta f_A$ に設定して、終点を判定する。本実施形態の制御装置2はさらに、第1のウェハ11の研磨時に収集された研磨音に基づいて、周波数帯域Rの新たな設定として第2の帯域 $\Delta f_B$ を決定する。本実施形態の制御装置2はさらに、次のウェハ11（第2のウェハ11）を研磨する際に、周波数帯域Rを第2の帯域 $\Delta f_B$ に変更して、終点を判定する。

#### 【0076】

このように、本実施形態の制御装置2は、あるウェハ11の研磨時に収集された研磨音に基づいて、次のウェハ11の研磨時の周波数帯域Rを補正する。本実施形態の制御装置2は、マスタ情報の上限（ $f_2$ ）および下限（ $f_1$ ）を変更することで、周波数帯域Rを補正することができる。

#### 【0077】

なお、制御装置2の機能に関し、周波数帯域Rの新たな設定を決定する機能は、決定部の例である。周波数帯域Rを新たな設定に応じて変更する機能は、変更部の例である。これらの機能の詳細は、図9～図11を参照して説明することにする。

#### 【0078】

図9は、第3実施形態の終点検知方法を説明するための別のグラフである。

#### 【0079】

図9(a)は、第1のウェハ11の研磨時に収集された研磨音のパワースペクトルを示している。具体的には、図9(a)は、図8(b)と同様に、特徴的な周波数におけるパワースペクトルの時間推移波形を示している。この周波数は、第1の帯域 $\Delta f_A$ に含まれている。符号 $U_A$ 、 $V_A$ 、 $t_A$ はそれぞれ、極大、極小、終点を示す。符号 $\Delta P_A$ は、パワースペクトルの極大 $U_A$ と極小 $V_A$ との間のパワー差を示す。

#### 【0080】

図9(b)も、第1のウェハ11の研磨時に収集された研磨音のパワースペクトルを示している。ただし、図9(b)は、様々な周波数におけるパワースペクトルの時間推移波形を示している。制御装置2は、研磨音のパワーの時間推移波形を周波数ごとに分解することで、図9(b)の時間推移波形を取得する。制御装置2はさらに、これらの時間推移波形が2次元画像として表現された第1の画像データを生成する。

#### 【0081】

第1の画像データにおいて、横軸は時間を示し、縦軸はパワースペクトルを示す。第1の画像データは、様々な周波数における時間推移波形を含み、各時間推移波形は、各周波数におけるパワースペクトルと時間との関係を示す。第1の画像データの内容は例えば、図9(b)に示すグラフと同様である。第1の画像データは、第1の帯域 $\Delta f_A$ 内の周波数の時間推移波形だけでなく、音響センサ18が検知可能なその他の周波数の時間推移波形

【0082】

制御装置2は、第1の画像データとの照合用の第2の画像データを、記録部26（図4参照）内にあらかじめ保持している。第2の画像データは、特徴的な周波数やその付近の周波数における時間推移波形（基準波形）を含んでいる。基準波形は、研磨の終点付近における時間推移波形である。第2の画像データのサイズ（基準空間）は、図9（b）にて四角形で示すように、 $\Delta T \times \Delta f$ である。第2の画像データは、試験用のウェハ11を研磨装置1により事前に研磨し、この研磨時の研磨音を収集することで生成可能である。

【0083】

制御装置2は、第1の画像データを図9（b）の矢印のようにスキャンして、第1の画像データと第2の画像データとを照合する。そして、制御装置2は、パターン認識技術により、第2の画像データと最も近い画像を含む領域を第1の画像データから抽出する。

【0084】

符号 $K_A$ は、第1の帯域 $\Delta f_A$ を縦幅とする領域を示す。符号 $K_B$ は、第2の帯域 $\Delta f_B$ を縦幅とする領域を示す。第2の画像データと最も違い画像を含む領域として領域 $K_B$ が抽出された場合、制御装置2は、周波数帯域Rの新たな設定として第2の帯域 $\Delta f_B$ を決定する。周波数帯域Rの新たな設定を画像照合により決定する機能は、画像照合部の例である。

【0085】

なお、制御装置2は、2種類以上の第2の画像データを保持していてもよい。これらの $\Delta T$ や $\Delta f$ の値は、互いに異なってもよい。また、上記のパターン認識技術は、どのような技術であってもよい。

【0086】

図9（c）は、第2のウェハ11の研磨時に収集された研磨音のパワースペクトルを示している。具体的には、図9（c）の実線は、第2の帯域 $\Delta f_B$ 内の周波数におけるパワースペクトルの時間推移波形を示している。比較のため、図9（c）の破線は、第1の帯域 $\Delta f_A$ 内の周波数におけるパワースペクトルの時間推移波形を示している。符号 $U_B$ 、 $V_B$ 、 $t_B$ 、 $\Delta P_B$ はそれぞれ、極大、極小、終点、パワー差を示す。

【0087】

図10は、第3実施形態の終点検知方法を示すフローチャートである。

【0088】

まず、第1のウェハ11の研磨を開始し（ステップS11）、第1のウェハ11の研磨音に対しステップS12～S14の処理を実行する。その結果、研磨音のパワースペクトルが算出される。

【0089】

次に、単位時間あたりのパワースペクトルの変化量を算出し（ステップS21）、所定の周波数領域Rにおける変化量に基づいて研磨の終点（変化点）を判定する（ステップS31）。終点は例えば、信号時間帯とノイズ時間帯との間のS/N比に基づいて判定可能である。研磨の終点が検知された場合には、第1のウェハ11の研磨を終了する（ステップS26）。

【0090】

第1のウェハ11の研磨が終了したら、第1のウェハ11の研磨音から特徴周波数帯域を抽出する（ステップS31）。具体的には、図9（b）の照合処理により、上述の領域 $K_B$ の帯域 $\Delta f_B$ を抽出する。

【0091】

次に、監視周波数帯域を抽出された帯域に変更する（ステップS32）。具体的には、周波数帯域Rを帯域 $\Delta f_B$ に決定する。

【0092】

次に、第2のウェハ11の研磨を開始し（ステップS11）、ステップS12以降の処理を実行する。この際、周波数帯域Rとして帯域 $\Delta f_B$ を使用する。

【0093】

制御装置2は、以上の処理を1ロットのすべてのウェハ11に対して繰り返す（ステップS27）。こうして、1ロットのウェハ11の研磨が実行される。

【0094】

図11は、第3実施形態の制御装置2の構成を示すブロック図である。

【0095】

制御装置2は、図11に示すように、音収集部21と、終点判定部23と、特徴周波数抽出部41と、監視周波数帯域変更部42とを備えている。なお、本実施形態の制御装置2は、第1実施形態の制御装置2と同様に、特徴抽出部22、出力部24、周波数帯域判断部25、および記録部26も備えているが、これらの構成要素の図示は省略した。

【0096】

特徴周波数抽出部41は、ステップS31において、研磨音から特徴周波数帯域を抽出する。監視周波数帯域変更部42は、ステップS32において、監視周波数帯域を抽出された帯域に変更する。本実施形態の制御装置2は、これらの構成要素により周波数帯域Rを補正する。

【0097】

以上のように、本実施形態では、第1のウェハ11の研磨時に収集された研磨音に基づいて、第2のウェハ11の研磨時の周波数帯域Rを補正する。この補正は例えば、第1の画像データと第2の画像データとの照合により実行される。よって、本実施形態によれば、周波数帯域Rの補正により研磨音収集の感度を向上させることで、終点検知の精度を向上させることが可能となる。

【0098】

以上、いくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例としてのみ提示したものであり、発明の範囲を限定することを意図したものではない。本明細書で説明した新規な装置および方法は、その他の様々な形態で実施することができる。また、本明細書で説明した装置および方法の形態に対し、発明の要旨を逸脱しない範囲内で、種々の省略、置換、変更を行うことができる。添付の特許請求の範囲およびこれに均等な範囲は、発明の範囲や要旨に含まれるこのような形態や変形例を含むように意図されている。

【符号の説明】

【0099】

- 1：研磨装置、2：制御装置、
- 11：ウェハ、12：研磨パッド、13：研磨ヘッド、
- 14：駆動部、15：研磨テーブル、16：回転部、
- 17：スラリー供給部、18：音響センサ、19：校正用スピーカ、
- 21：音収集部、22：特徴抽出部、23：終点判定部、
- 24：出力部、25：周波数帯域判断部、26：記録部、
- 31：校正部、32：装置状態判断部、33：入出力部、
- 41：特徴周波数帯域抽出部、42：監視周波数帯域変更部

【書類名】 特許請求の範囲

【請求項 1】

半導体製造装置による基板の加工音を収集する音収集部と、  
前記加工音のパワースペクトルの変化量を算出する変化量算出部と、  
前記変化量に基づいて、前記基板の加工の変化点を判定する変化点判定部と、  
を備える半導体製造装置の制御装置。

【請求項 2】

前記変化量算出部は、第 1 の周波数帯域における前記変化量に基づいて、第 1 の値を算出し、第 2 の周波数帯域における前記変化量に基づいて、第 2 の値を算出し、  
前記変化点判定部は、前記第 1 および第 2 の値に基づいて、前記変化点を判定する、  
請求項 1 に記載の半導体製造装置の制御装置。

【請求項 3】

前記第 1 の値は、前記第 1 の周波数帯域における前記変化量の平均値であり、  
前記第 2 の値は、前記第 2 の周波数帯域における前記変化量の平均値である、  
請求項 2 に記載の半導体製造装置の制御装置。

【請求項 4】

前記変化量算出部は、前記基板に関する情報に基づいて、前記第 1 および第 2 の周波数帯域を変更する、請求項 2 または 3 に記載の半導体製造装置の制御装置。

【請求項 5】

前記変化量算出部は、前記第 1 および第 2 の値に基づいて、前記加工音の S / N 比（信号雑音比）を算出し、  
前記変化点判定部は、前記 S / N 比に基づいて、前記変化点を判定する、  
請求項 2 から 4 のいずれか 1 項に記載の半導体製造装置の制御装置。

【請求項 6】

前記音収集部は、音響センサから、前記加工音と、前記音響センサの校正用の基準音とを収集し、  
さらに、  
収集された前記基準音を利用して、前記基準音の周波数の測定値を取得する取得部と、  
前記基準音の周波数の設定値を記録部から読み出す読出部と、  
前記基準音の周波数の測定値と、前記基準音の周波数の設定値とに基づいて、前記音響センサを校正する校正部と、  
を備える請求項 1 に記載の半導体製造装置の制御装置。

【請求項 7】

前記変化点判定部は、所定の周波数帯域における前記変化量に基づいて、前記変化点を判定し、  
さらに、  
第 1 の基板の加工時に収集された前記加工音に基づいて、前記所定の周波数帯域の設定を決定する決定部と、  
第 2 の基板の加工時に、前記所定の周波数帯域を前記設定に応じて変更する変更部と、  
を備える請求項 1 に記載の半導体製造装置の制御装置。

【請求項 8】

前記決定部は、  
前記第 1 の基板の加工時に収集された前記加工音の前記パワースペクトルと時間との関係を示す第 1 の画像データを生成する画像生成部と、  
前記第 1 の画像データと、前記変化点における前記パワースペクトルと時間との関係を示す第 2 の画像データとを照合して、前記所定の周波数帯域の前記設定を決定する画像照合部と、  
を備える請求項 7 に記載の半導体製造装置の制御装置。

【請求項 9】

さらに、前記変化点判定部により前記変化点が検知された場合に、前記基板の加工を終

了するように前記半導体製造装置を制御する終了制御部を備える、請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載の半導体製造装置の制御装置。

【請求項 1 0】

半導体製造装置による基板の加工音を収集し、  
前記加工音のパワースペクトルの変化量を算出し、  
前記変化量に基づいて、前記基板の加工の変化点を判定する、  
ことを含む半導体製造装置の制御方法。

【書類名】 要約書

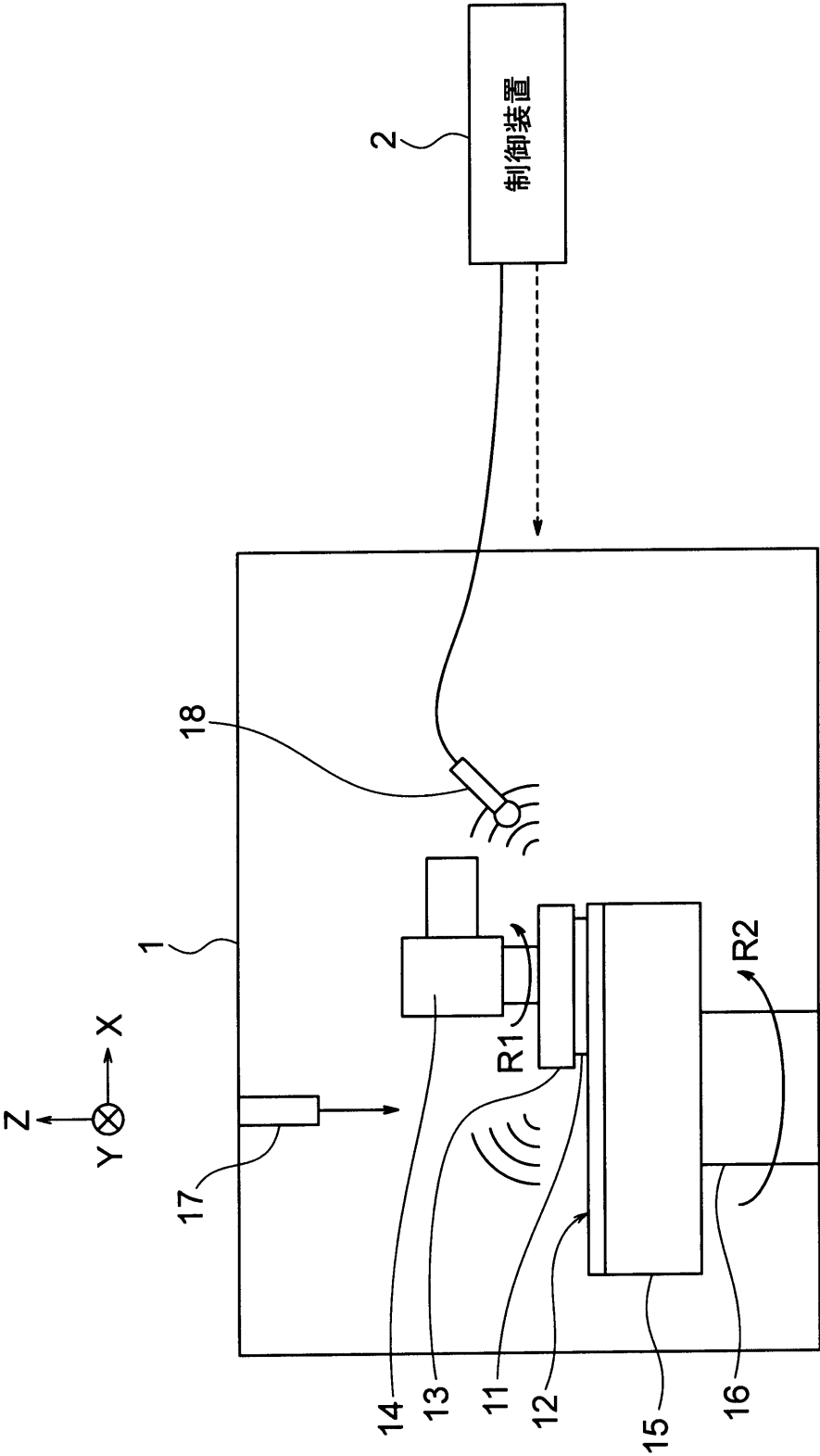
【要約】

【課題】 基板の加工の変化点を加工音を用いて精度よく検知可能な半導体製造装置の制御装置および制御方法を提供する。

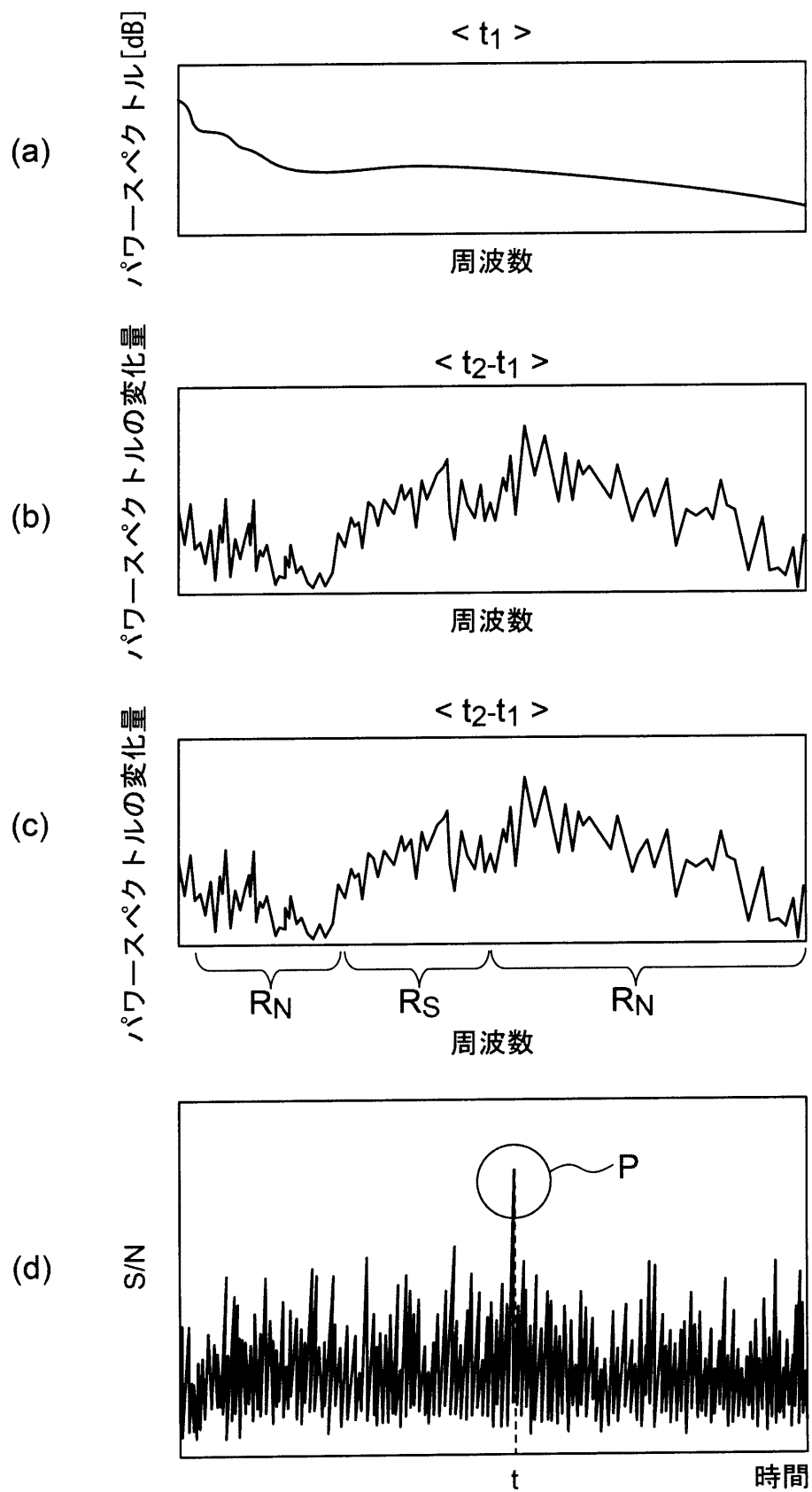
【解決手段】 一の実施形態によれば、半導体製造装置の制御装置は、半導体製造装置による基板の加工音を収集する音収集部を備える。前記制御装置はさらに、前記加工音のパワースペクトルの変化量を算出する変化量算出部を備える。前記制御装置はさらに、前記変化量に基づいて、前記基板の加工の変化点を判定する変化点判定部を備える。

【選択図】 図 1

【書類名】 図面  
【図 1】

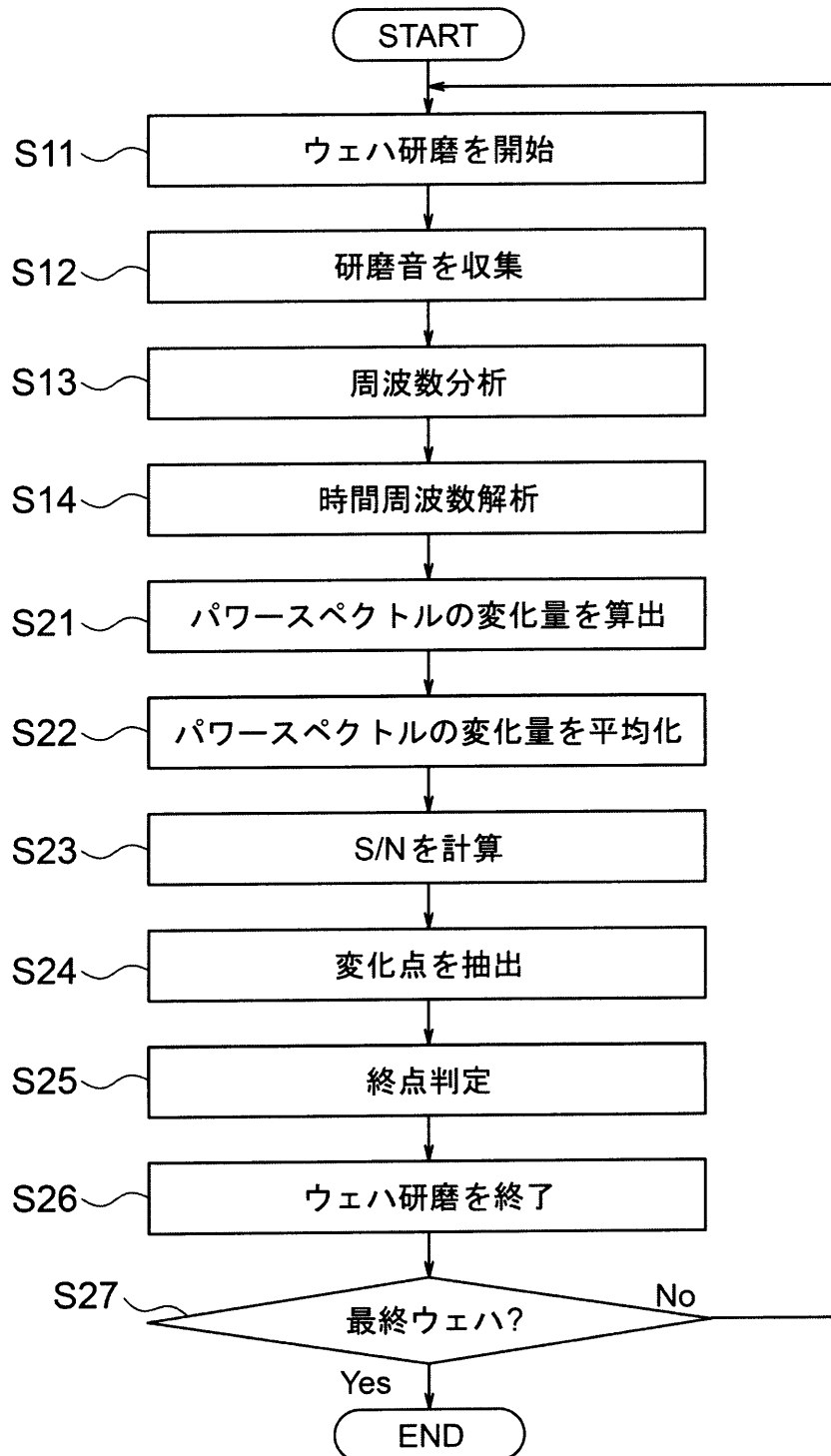


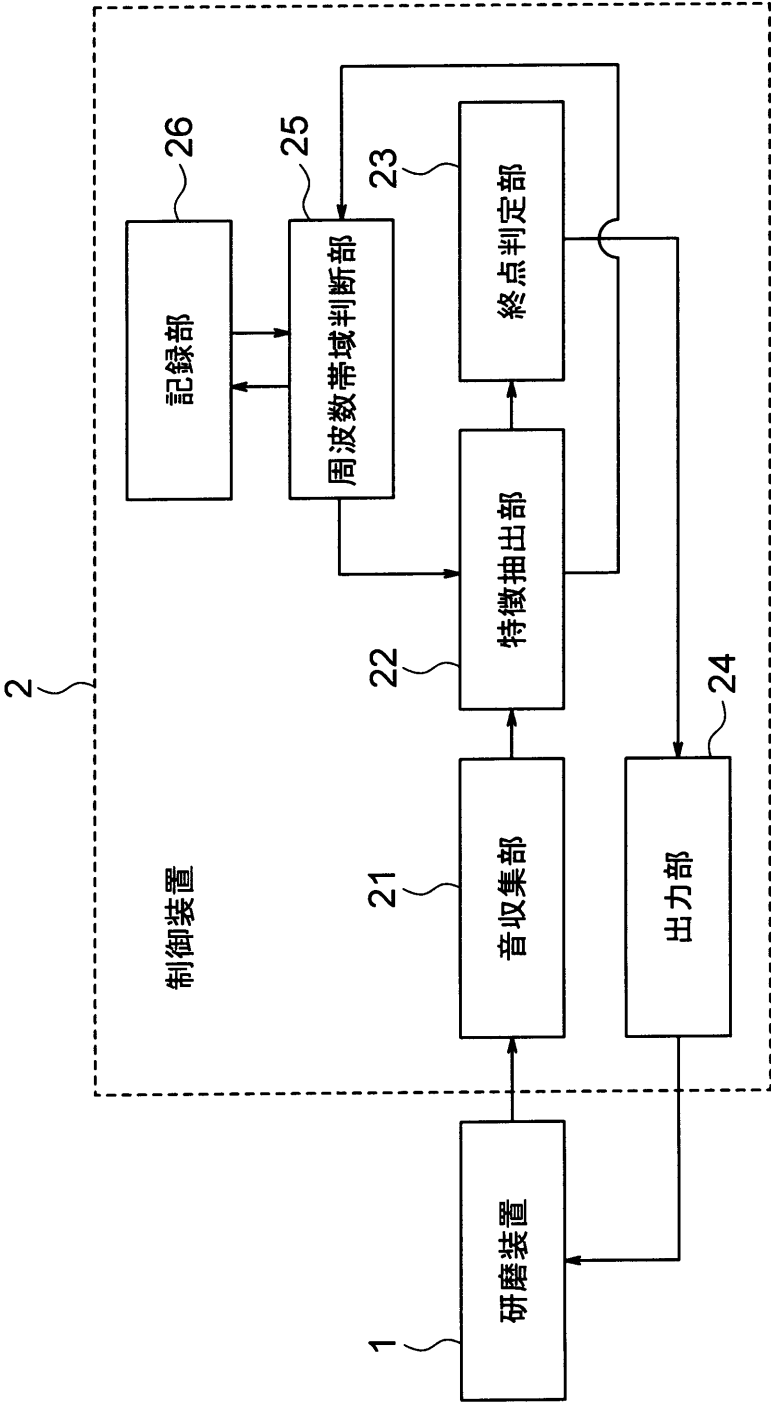
【図 2】

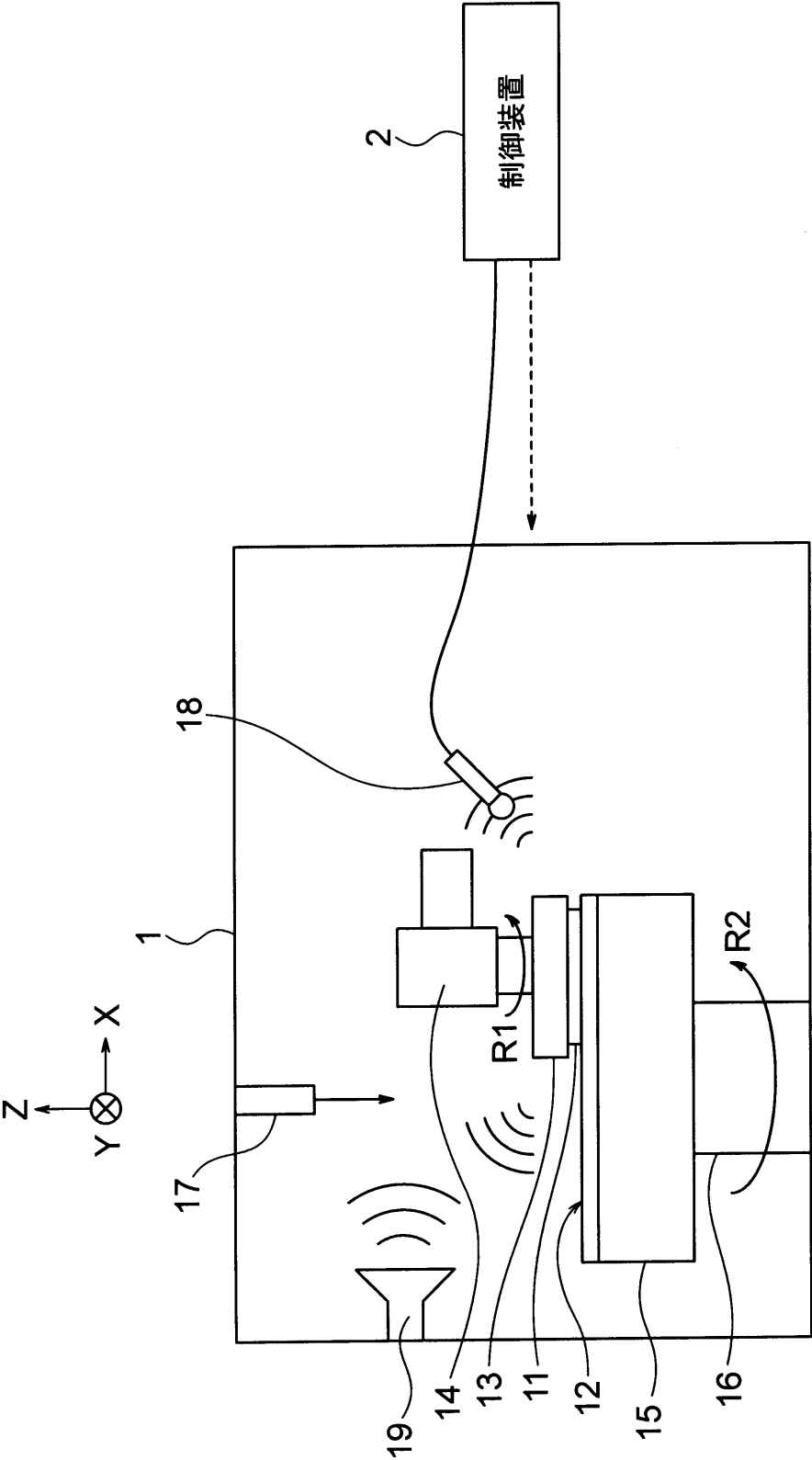




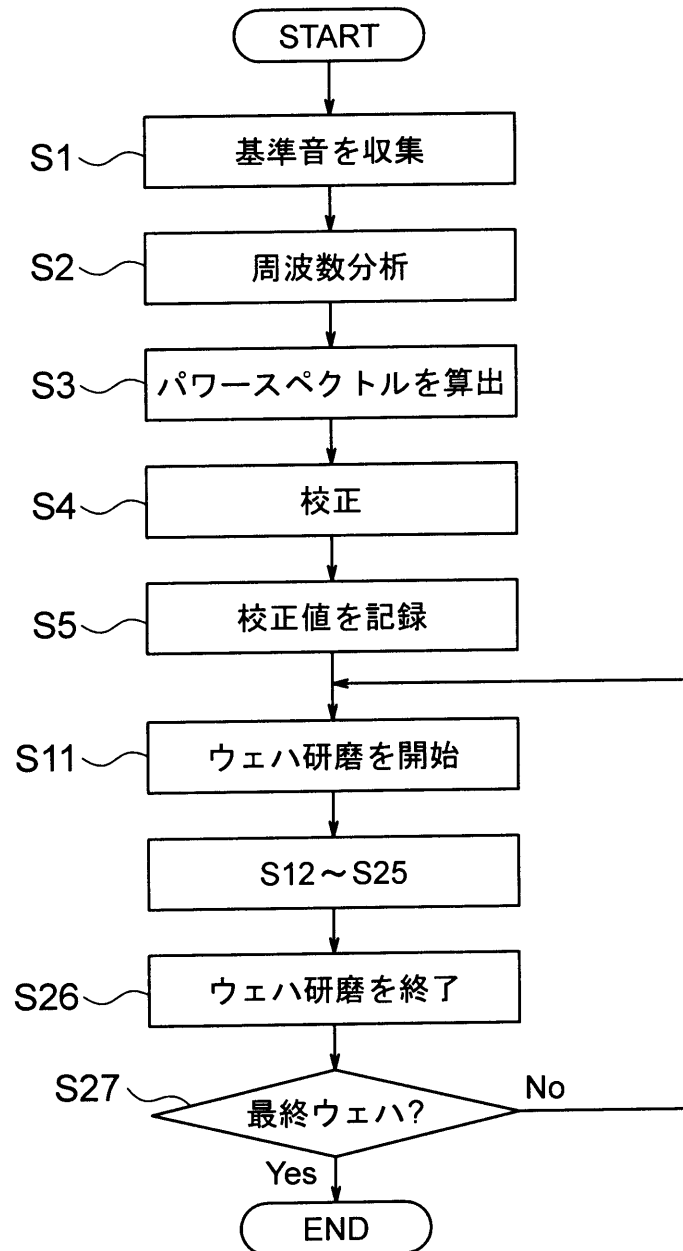
【図3】

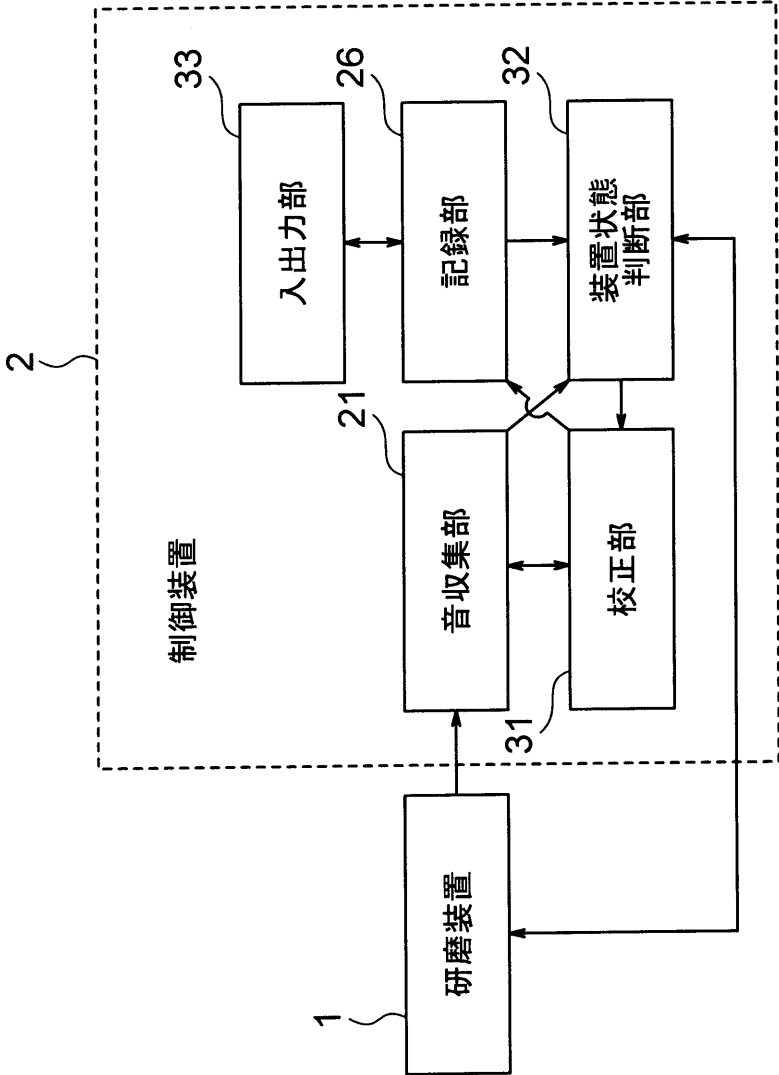




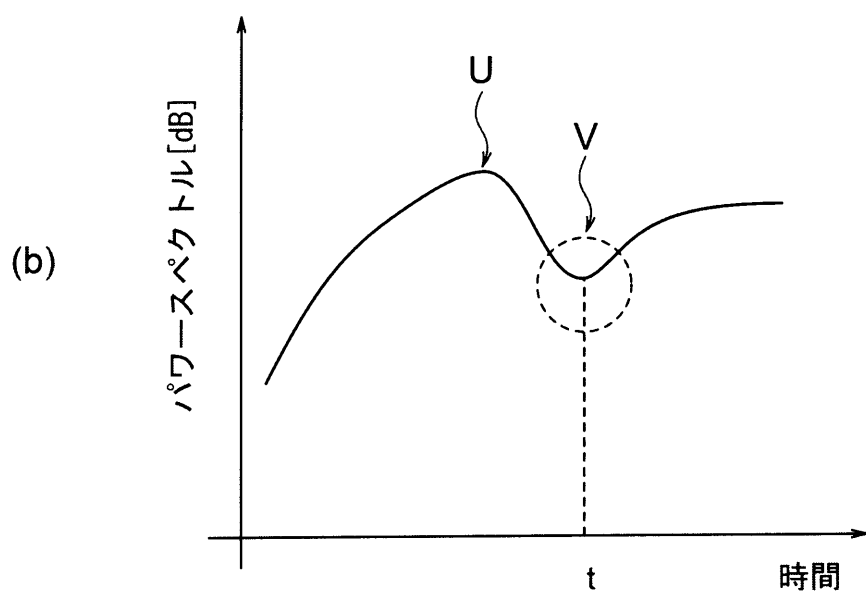
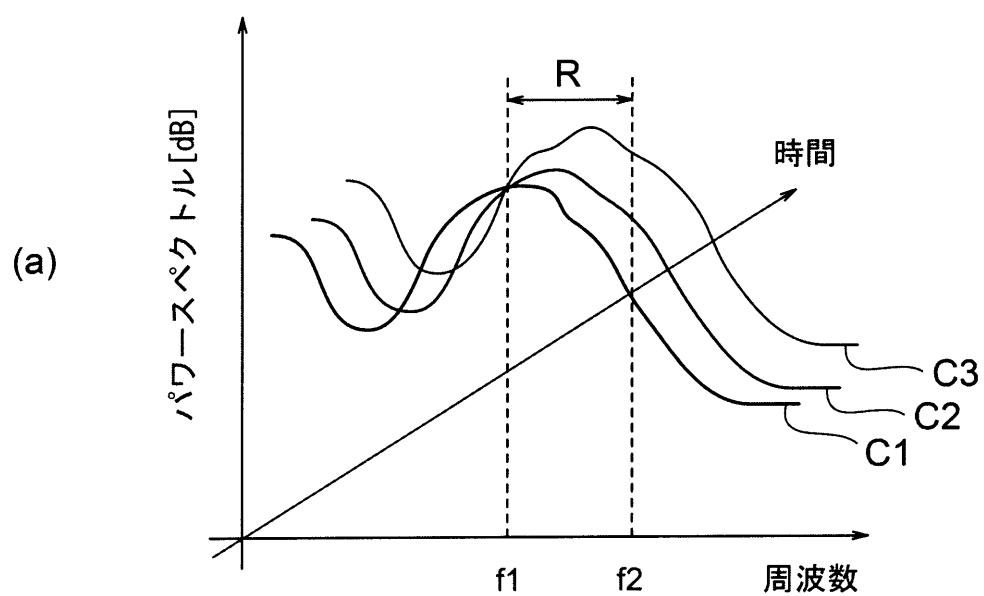


【図6】





【図 8】



【図9】

