

明 細 書

発明の名称： 研磨装置および研磨方法

技術分野

[0001] 本発明は、パターンが形成されたウェーハなどのワークピースを研磨パッド上で研磨する研磨装置および研磨方法に関し、特に、ピッチなどのパターンの幾何学的要素を検出する研磨装置および研磨方法に関する。

また、本発明は、パターンが形成されたウェーハなどのワークピースを研磨パッド上で研磨する研磨装置および研磨方法に関し、特に、ワークピースの研磨終点を決定する技術に関する。

背景技術

[0002] ウェーハの研磨は、一般に、化学機械研磨装置（CMP装置）を用いて行われる。このCMP装置は、研磨テーブル上に貼り付けられた研磨パッドにスラリーを供給しながら、ウェーハを研磨パッドに摺接させることによりウェーハの表面を研磨するように構成される。CMP装置で研磨されるウェーハは、一般に、配線構造を構成するパターンを有している。ウェーハの研磨中は、パターンが形成されているウェーハ面が研磨パッドに押し付けられ、ウェーハ面を構成する膜（絶縁膜、金属膜など）が研磨される。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特表2004-517476号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] ウェーハの研磨条件は、ピッチなどのパターンの幾何学的要素によって変わりうる。例えば、パターンのピッチが小さい（パターン密度が高い）領域では、ウェーハに対する研磨荷重を増加し、パターンのピッチが大きい（パターン密度が低い）領域では、ウェーハに対する研磨荷重を減少させることが考えられる。しかしながら、パターンの幾何学的要素は不明であるため、

そのようなパターンに基づく研磨条件の最適化はできなかった。

[0005] ウェーハの研磨中にウェーハ面を監視する技術としては、光学式の研磨監視システムが挙げられる。このシステムは、ウェーハ面に光を照射し、ウェーハ面からの反射光のスペクトルに基づいて測定箇所での膜厚を推定したり、ウェーハの研磨終点を検出する。しかしながら、ウェーハには複雑且つ微細なパターンが形成されているため、パターンによる光の干渉などが発生し、膜厚の正確な推定を困難としている。

[0006] また、ダマシン法などの配線形成工程においては、ウェーハ面を構成する余剰膜の除去が完了し、パターンが明確に顕れた時点が研磨終点とされる。したがって、パターンの顕現を直接的に観察し、研磨終点を検出することが望ましい。パターンの顕現を直接的に観察するには、一般に超高倍率の観察が可能な顕微システムが必要であるが、このようなシステムは複雑で精密な光学系から成るため、そのような顕微システムを動的な環境での観察が必要なCMP装置に組み込むのは現実的でない。

[0007] そこで、本発明は、ウェーハなどのワークピースに形成されているパターンのピッチなどの幾何学的要素を取得することができる研磨装置および研磨方法を提供する。

また、本発明は、高倍率で精緻な顕微システムを用いることなく、ウェーハなどのワークピースのパターンの顕現を直接的に監視し、正確な研磨終点を検出することができる研磨装置および研磨方法を提供する。

課題を解決するための手段

[0008] 一態様では、研磨パッドを支持する研磨テーブルと、パターンが形成されたワークピースを前記研磨パッドに対して押し付けて該ワークピースの表面を研磨する研磨ヘッドと、前記研磨テーブル内に配置され、前記ワークピースの前記パターンを少なくとも含む画像を生成する撮像装置と、前記画像に基づいて前記ワークピースの前記パターンの幾何学的要素を決定する画像解析システムを備えている、研磨装置が提供される。

[0009] 一態様では、前記研磨装置は、前記ワークピースの前記パターンを視覚的

に拡大するパターン拡大装置をさらに備えている。

一態様では、前記パターン拡大装置は、予め定められた形状および寸法を有する参照パターンが形成された格子であり、前記画像解析システムは、前記ワークピースの前記パターンと前記参照パターンとの重なりに起因して前記画像に現れるモアレ模様に基づいて、前記ワークピースの前記パターンの幾何学的要素を決定するように構成されている。

一態様では、前記画像解析システムは、前記画像上に現れている前記モアレ模様の線幅を測定し、前記モアレ模様の線幅と前記参照パターンの幾何学的要素から、前記ワークピースの前記パターンのピッチを算定するように構成されている。

[0010] 一態様では、前記画像解析システムは、前記撮像装置から画像を取得し、前記画像上のモアレ模様を複数の参照画像上の参照モアレ模様と比較し、前記画像上のモアレ模様に最も一致する参照モアレ模様を持つ参照画像を決定し、前記決定された参照画像に関連付けられたパターンの幾何学的要素を決定するように構成されている。

一態様では、前記研磨装置は、前記研磨テーブル内に配置された第1プリズムおよび第2プリズムと、前記第1プリズムを向いて配置された光源をさらに備えており、前記撮像装置は前記第2プリズムを向いて配置されており、前記第1プリズムは、前記光源から発せられた光を、前記格子を通過して前記ワークピースに向かう第1の光と、前記格子で反射する第2の光に分解するように配置され、前記第2プリズムは、前記ワークピースで反射した前記第1の光と、前記格子で反射した前記第2の光を重畳させ、重畳した前記第1の光および前記第2の光を前記撮像装置に入射させるように配置されている。

一態様では、前記研磨装置は、前記研磨テーブル内に配置されたビームスプリッタおよび光源をさらに備えており、前記光源および前記格子は、前記ビームスプリッタに関して対称的に配置されており、前記撮像装置は、前記ビームスプリッタを向いて配置されており、前記ビームスプリッタは、前記

光源から発せられた光を、前記ビームスプリッタで反射する第1の光と、前記ビームスプリッタを通過する第2の光に分解し、前記第1の光は前記ワークピースに入射し、前記第2の光は前記格子に入射するように配置されている。

一態様では、前記参照パターンは、同心円状パターンまたは放射状パターンである。

[0011] 一態様では、研磨テーブルを研磨パッドとともに回転させ、パターンが形成されたワークピースを前記研磨パッドに対して押し付けて該ワークピースの表面を研磨し、前記研磨テーブル内に配置された撮像装置により、前記ワークピースの前記パターンを少なくとも含む画像を生成し、前記画像に基づいて前記ワークピースの前記パターンの幾何学的要素を決定する、研磨方法が提供される。

[0012] 一態様では、前記研磨テーブル内には、前記ワークピースの前記パターンを視覚的に拡大するパターン拡大装置が配置されている。

一態様では、前記パターン拡大装置は、予め定められた形状および寸法を有する参照パターンが形成された格子であり、前記画像に基づいて前記ワークピースの前記パターンの幾何学的要素を決定する工程は、前記ワークピースの前記パターンと前記参照パターンとの重なりに起因して前記画像に現れるモアレ模様に基づいて、前記ワークピースの前記パターンの幾何学的要素を決定する工程である。

一態様では、前記画像に基づいて前記ワークピースの前記パターンの幾何学的要素を決定する工程は、前記画像上に現れている前記モアレ模様の線幅を測定し、前記モアレ模様の線幅と前記参照パターンの幾何学的要素から、前記ワークピースの前記パターンのピッチを算定する工程である。

[0013] 一態様では、前記画像に基づいて前記ワークピースの前記パターンの幾何学的要素を決定する工程は、前記撮像装置から画像を取得し、前記画像上のモアレ模様を複数の参照画像上の参照モアレ模様と比較し、前記画像上のモアレ模様に最も一致する参照モアレ模様を持つ参照画像を決定し、前記決定

された参照画像に関連付けられたパターンの幾何学的要素を決定する工程である。

一態様では、前記参照パターンは、同心円状パターンまたは放射状パターンである。

[0014] 一態様では、研磨パッドを支持する研磨テーブルと、パターンが形成されたワークピースを前記研磨パッドに対して押し付けて該ワークピースの表面を研磨する研磨ヘッドと、前記研磨テーブル内に配置され、参照パターンが形成された格子と、前記研磨テーブル内に配置され、前記ワークピースの前記パターンおよび前記参照パターンを含む画像を生成する撮像装置と、前記ワークピースの前記パターンと前記参照パターンとの重なりに起因して前記画像に現れるモアレ模様に基づいて前記ワークピースの研磨終点を決定する画像解析システムを備えている、研磨装置が提供される。

[0015] 一態様では、前記画像解析システムは、前記画像上の前記モアレ模様の鮮明度に基づいて、前記ワークピースの研磨終点を決定するように構成されている。

一態様では、前記画像解析システムは、前記モアレ模様の鮮明度が変化しなくなった時点である前記ワークピースの研磨終点を決定するように構成されている。

一態様では、前記画像解析システムは、前記モアレ模様の鮮明度を示す指標数値を算定し、前記指標数値の変化率を算定し、前記変化率が第1のしきい値よりも大きくなった時点を検出し、その後前記変化率が第2のしきい値よりも小さくなった時点である研磨終点を決定するように構成されている。

一態様では、前記指標数値は、変調伝達関数で表される数値である。

[0016] 一態様では、参照パターンが形成された格子と、研磨テーブルとを研磨パッドとともに回転させ、パターンが形成されたワークピースを前記研磨パッドに対して押し付けて該ワークピースの表面を研磨し、前記研磨テーブル内に配置された撮像装置により、互いに重なり合う前記ワークピースの前記パターンと前記参照パターンの画像を生成し、前記画像に現れるモアレ模様

基づいて前記ワークピースの研磨終点を決定する、研磨方法が提供される。

[0017] 一態様では、前記画像に現れるモアレ模様に基づいて前記ワークピースの研磨終点を決定する工程は、前記画像上の前記モアレ模様の鮮明度に基づいて、前記ワークピースの研磨終点を決定する工程である。

一態様では、前記画像上の前記モアレ模様の鮮明度に基づいて、前記ワークピースの研磨終点を決定する工程は、前記モアレ模様の鮮明度が変化しなくなった時点である前記ワークピースの研磨終点を決定する工程である。

一態様では、前記モアレ模様の鮮明度が変化しなくなった時点である前記ワークピースの研磨終点を決定する工程は、前記モアレ模様の鮮明度を示す指標数値を算定し、前記指標数値の変化率を算定し、前記変化率が第1のしきい値よりも大きくなった時点を検出し、その後前記変化率が第2のしきい値よりも小さくなった時点である研磨終点を決定する工程である。

一態様では、前記指標数値は、変調伝達関数で表される数値である。

発明の効果

[0018] 本発明によれば、ワークピースのパターンの画像に基づいてワークピースのパターンの幾何学的要素を取得することができる。

また、本発明によれば、画像上のモアレ模様の発現に基づいてワークピースの研磨終点を正確に決定することができる。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]ワークピースの一例であるウェーハを研磨する研磨装置の一実施形態を示す模式図である。

[図2]格子の参照パターンの一例を示す図である。

[図3]格子の参照パターンの他の例を示す図である。

[図4]画像上のウェーハのパターンおよび格子の参照パターンの一例を示す模式図である。

[図5]画像上のウェーハのパターンおよび格子の参照パターンの他の例を示す模式図である。

[図6]モアレ模様の線幅と、ウェーハのパターンのピッチとの関係を説明する

ための一例を示す図である。

[図7]モアレ模様の線幅と、ウェーハのパターンのピッチとの関係を説明するための他の例を示す図である。

[図8]研磨装置の他の実施形態を示す模式図である。

[図9]研磨装置のさらに他の実施形態を示す模式図である。

[図10]複数の参照画像が格納されたデータベースを有する研磨装置の一実施形態を示す模式図である。

[図11]画像上のモアレ模様を、複数の参照画像上の参照モアレ模様と比較する工程を説明するための図である。

[図12A]図12Aは、ウェーハの断面構造の一例を示す模式図である。

[図12B]図12Bは、ウェーハの断面構造の一例を示す模式図である。

[図13]図12Aに示すウェーハを研磨しているときの画像上のモアレ模様の鮮明度を示す指標数値の変化を示す図である。

[図14]指標数値の変化率を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0020] 以下、本発明の実施形態について図面を参照して説明する。

以下に説明する実施形態では、研磨対象であるワークピースは、パターンが予め形成されたウェーハであるが、本発明は以下の実施形態に限らず、ワークピースは、パターンが予め形成されたパネル、角基板、ガラス基板などであってもよい。

[0021] 図1は、ワークピースの一例であるウェーハを研磨する研磨装置の一実施形態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2を支持する研磨テーブル3と、ワークピースの一例であるウェーハWを研磨パッド2に押し付ける研磨ヘッド1と、研磨テーブル3を研磨パッド2とともに回転させるテーブルモータ6と、研磨パッド2上にスラリーを供給するためのスラリー供給ノズル5を備えている。

[0022] 研磨ヘッド1はヘッドシャフト10に連結されており、ヘッドシャフト10とともに研磨ヘッド1は回転可能である。ヘッドシャフト10は、ベルト

等の連結手段 17 を介して研磨ヘッドモータ 18 に連結されて回転されるようになっている。このヘッドシャフト 10 の回転により、研磨ヘッド 1 が矢印で示す方向に回転する。研磨テーブル 3 のテーブルシャフト 3a はテーブルモータ 6 に連結されており、テーブルモータ 6 は研磨テーブル 3 および研磨パッド 2 を矢印で示す方向に回転させるように構成されている。

[0023] ウェーハ W は次のようにして研磨される。研磨テーブル 3 および研磨ヘッド 1 を図 1 の矢印で示す方向に回転させながら、スラリー供給ノズル 5 からスラリーが研磨テーブル 3 上の研磨パッド 2 の研磨面 2a に供給される。研磨パッド 2 は研磨テーブル 3 とともに回転される。回転する研磨パッド 2 上にスラリーが存在した状態で、ウェーハ W は研磨パッド 2 の研磨面 2a に研磨ヘッド 1 によって押し付けられる。ウェーハ W の表面は、スラリーの化学的作用と、スラリーに含まれる砥粒および研磨パッド 2 の機械的作用により研磨される。

[0024] 研磨装置は、研磨テーブル 3 内に配置された撮像装置 20 と、研磨ヘッド 1 と撮像装置 20 との間に配置されたパターン拡大装置としての格子 24 を備えている。撮像装置 20 は、ウェーハ W の被研磨面（パターン面）を向いて配置されており、ウェーハ W に形成されているパターンを少なくとも含む画像を生成するように構成されている。研磨装置は、撮像装置 20 によって生成された画像に基づいてウェーハ W のパターンの幾何学的要素を決定する画像解析システム 30 と、画像解析システム 30 によって決定されたウェーハ W のパターンの幾何学的要素に基づいて、ウェーハ W の研磨条件を決定する動作制御部 40 をさらに備えている。

[0025] 撮像装置 20 は、CCD センサまたは CMOS センサなどのイメージセンサを備えたカメラである。撮像装置 20 は、上方を向いて、すなわち研磨パッド 2 上のウェーハ W の被研磨面（パターン面）を向いて配置されている。撮像装置 20 は、ウェーハ W の被研磨面（パターン面）を照明するための照明器を備えてもよい。

[0026] 画像解析システム 30 は、後述するように、画像に現れるモアレ模様に基づ

づいてウェーハWのパターンの幾何学的要素を決定するためのプログラムが格納された記憶装置30aと、プログラムに含まれる命令に従って演算を実行する処理装置30bを備えている。記憶装置30aは、RAMなどの主記憶装置と、ハードディスクドライブ(HDD)、ソリッドステートドライブ(SSD)などの補助記憶装置を備えている。処理装置30bの例としては、CPU(中央処理装置)、GPU(グラフィックプロセッシングユニット)が挙げられる。ただし、画像解析システム30の具体的構成はこれらの例に限定されない。

[0027] 画像解析システム30は、少なくとも1台のコンピュータから構成されている。前記少なくとも1台のコンピュータは、1台のサーバまたは複数台のサーバであってもよい。画像解析システム30は、撮像装置20に通信線で接続されたエッジサーバであってもよいし、インターネットまたはローカルエリアネットワークなどの通信ネットワークによって撮像装置20に接続されたクラウドサーバであってもよいし、あるいは撮像装置20に接続されたネットワーク内に設置されたフォグコンピューティングデバイス(ゲートウェイ、フォグサーバ、ルーターなど)であってもよい。

[0028] 格子24には、予め定められた形状および寸法を有する参照パターンが形成されている。一実施形態では、格子24は、透明板と、この透明板上に形成されたパターン層を有する。透明板は、ガラスまたは透明な樹脂などの光を透過させる材料から構成されているのに対して、パターン層は、光を遮る材料から構成されている。参照パターンはパターン層に形成されている。

[0029] 格子24は、研磨テーブル3内に配置されている。より具体的には、格子24は、撮像装置20の直上に配置されており、撮像装置20は格子24を向いて配置されている。格子24は、研磨パッド2の研磨面2aと平行(すなわち、研磨パッド2上のウェーハWの被研磨面と平行)である。研磨パッド2には通孔2bが形成されている。この通孔2bは、格子24および撮像装置20と一直線上に並んでいる。したがって、撮像装置20は、ウェーハWの研磨中に、通孔2bおよび格子24を通じて研磨パッド2上のウェーハ

Wのパターンの画像を生成することができる。格子24の一部は、研磨パッド2の通孔2b内に位置してもよい。

[0030] 一実施形態では、撮像装置20は、ウェーハWの研磨前に、通孔2bおよび格子24を通じて研磨パッド2上のウェーハWのパターンの画像を生成してもよい。具体的には、研磨テーブル2および研磨ヘッド1が回転していない状態で、研磨ヘッド1によりウェーハWの被研磨面（パターン面）を研磨パッド2の研磨面2aに対して押し付け、通孔2bをウェーハWで覆う。撮像装置20は、通孔2bおよび格子24を通じて研磨パッド2上のウェーハWのパターンの画像を生成する。

[0031] 図2は、格子24の参照パターンの一例を示す図である。図2に示す参照パターンP2は、同心円状のパターンである。同心円の円間隔は一定であり、その円間隔は予め定められている。図3は、格子24の参照パターンの他の例を示す図である。図3に示す例では、参照パターンP2は、放射状に延びるパターンである。各ライン間の角度は一定であり、その角度は予め定められている。

[0032] ウェーハWの研磨中、研磨ヘッド1とウェーハWは一体に回転し、研磨パッド2と研磨テーブル3は一体に回転する。格子24および撮像装置20も、研磨テーブル3と一体に回転する。撮像装置20は、研磨ヘッド1およびウェーハWが格子24の上方にあるときに、画像を生成する。より具体的には、撮像装置20は、ウェーハWのパターンと、格子24の参照パターンP2が重なったときに、ウェーハWのパターンと、格子24の参照パターンP2の両方を含む画像を撮像する。画像には、互いに重なり合ったウェーハWのパターンおよび参照パターンP2が現れる。

[0033] 図4および図5は、撮像装置20によって生成された画像上のウェーハWのパターンP1および格子24の参照パターンP2を示す模式図である。図4に示す例では、参照パターンP2は図2に示す同心円状パターンであり、図5に示す例では、参照パターンP2は図3に示す放射状のパターンである。図4および図5の両方の例において、ウェーハWのパターンP1は、直線

ラインが等間隔で配列されたラインアンドスペースパターンである。

[0034] 図4および図5から分かるように、画像には、ウェーハWのパターンP1と格子24の参照パターンP2との重なり起因してモアレ模様が現れる。モアレ模様は、規則的なパターンを重ね合わせたときに現れる模様であり、干渉縞とも呼ばれる。

[0035] モアレ模様の線幅やピッチなどの幾何学的要素は、ウェーハWのパターンP1と格子24の参照パターンP2の幾何学的要素に依存して決まる。言い換えれば、ウェーハWのパターンP1の未知の幾何学的要素は、画像上に現れたモアレ模様の幾何学的要素と、格子24の参照パターンP2の幾何学的要素から一意に算定することができる。画像解析システム30は、画像上に現れたモアレ模様の幾何学的要素と、格子24の参照パターンP2の幾何学的要素から、ウェーハWのパターンP1の未知の幾何学的要素を算定するように構成されている。

[0036] ウェーハWのパターンP1の幾何学的要素の1つであるピッチ、すなわちパターンP1を構成する直線ライン間の距離は、モアレ模様の線幅から次のようにして算定することができる。図6は、モアレ模様の線幅と、ウェーハWのパターンP1のピッチとの関係を説明するための一例を示す図である。図6に示すモアレ模様は、ラインアンドスペースパターンからなるウェーハWのパターンP1と、同心円状の参照パターンP2との重なりによって生じた模様である。ウェーハWのパターンP1と参照パターンP2とが交わる点を結ぶ線（図6の太線で示す）の長さは、モアレ模様の線幅を表している。

[0037] 図6において、参照パターンP2の同心円の間隔をA、求めようとするモアレ模様の内側の円をm番目の円、ラインアンドスペースパターンからなるウェーハWのパターンP1のピッチをd、求めようとするモアレ模様の位置を同心円の中心Oからのn本目の直線とすると、モアレ模様の線幅を求めるための式は、次のように与えられる。

[数1]

$$Y - y = \sqrt{(mA + A)^2 - nd^2} - \sqrt{(mA)^2 - nd^2} \quad (1)$$

[0038] 上記式（１）において、モアレ模様の線幅 $Y-y$ と、モアレ模様の位置を示す直線の本数 n は、撮像装置２０によって生成された画像から測定することができる。すなわち、画像解析システム３０は、撮像装置２０から画像を取得し、画像上のモアレ模様の線幅 $Y-y$ とモアレ模様の位置を示す直線の本数 n を測定する。上記式（１）における A は予め定められた数値であり、 m の数値は、求めようとするモアレ模様の線幅の位置に基づいて、一意に求められる。したがって、画像解析システム３０は、モアレ模様の線幅 $Y-y$ および本数 n の数値、および m 、 A の具体的数値を上記式（１）に代入し、さらに上記式（１）を d について解くことで、ウェーハ W のパターンのピッチ d を算定することができる。

[0039] 図７は、モアレ模様の線幅と、ウェーハ W のパターン $P1$ のピッチとの関係を説明するための他の例を示す図である。図７に示すモアレ模は、ラインアンドスペースパターンからなるウェーハ W のパターン $P1$ と、放射状の参照パターン $P2$ との重なりによって生じた模様である。ウェーハ W のパターン $P1$ と参照パターン $P2$ とが交わる点を結ぶ線（図７の太線で示す）の長さは、モアレ模様の線幅を表している。

[0040] 図７において、参照パターン $P2$ の放射状の線間の角度を θ 、ラインアンドスペースパターンからなるウェーハ W のパターン $P1$ のピッチを d 、求めようとするモアレ模様までの参照パターン $P2$ の中心 O からの距離を D 、モアレ模様の線幅の番号を N とすると、モアレ模様の線幅を求めるための式は、次のように与えられる。

[数2]

$$Y_N = \sqrt{[(D+d)\tan N\theta - D\tan(N-1)\theta]^2 + d^2} \quad (2)$$

[0041] 上記式（２）において、モアレ模様の線幅 Y_N および距離 D は、撮像装置２０によって生成された画像から測定することができる。すなわち、画像解析システム３０は、撮像装置２０から画像を取得し、画像上のモアレ模様の線幅 Y_N および距離 D を測定する。上記式（２）における θ は予め定められた数

値であり、 N は、求めようとするモアレ模様の線幅の位置に基づいて、一意に求められる。したがって、画像解析システム30は、モアレ模様の線幅 Y_N の測定値および距離 D 、および θ 、 N の具体的数値を上記式(2)に代入し、さらに上記式(2)を d について解くことで、ウェーハWのパターンP1のピッチ d を算定することができる。

[0042] モアレ模様は、ウェーハWのパターンに依存して変わり、かつウェーハWのパターンよりも大きな模様である。したがって、格子24は、ウェーハWのパターンを視覚的に拡大し、モアレ模様に変換するパターン拡大装置として機能する。本実施形態によれば、顕微鏡などの精密機械を用いずに、シンプルな構造を持つ格子24を研磨テーブル3に設置することにより、画像解析システム30は、ウェーハWのパターンの幾何学的要素をウェーハWの研磨中に取得することができる。動作制御部40は、ウェーハWのパターンの幾何学的要素に基づいて、ウェーハWの研磨条件を最適化することができる。

[0043] 図1に示すように、画像解析システム30は、動作制御部40に接続されている。画像解析システム30によって算定(決定)されたウェーハWのパターンの幾何学的要素は、動作制御部40に送られる。動作制御部40は、画像解析システム30から送られたウェーハWのパターンの幾何学的要素に基づいて、ウェーハWの研磨条件を最適化する。例えば、動作制御部40は、ウェーハWのパターンの幾何学的要素に基づいて、研磨ヘッド1がウェーハWに加える研磨荷重を最適化する。

[0044] ウェーハWの研磨中は、ウェーハWはその軸心を中心に回転する。図2および図3に示す同心円状または放射状の参照パターンによれば、ウェーハWの回転角度にかかわらず、画像上に同じモアレ模様が現れる。したがって、画像解析システム30は、モアレ模様に基づいてウェーハWのパターンの正確な幾何学的要素を決定することができる。一実施形態では、ウェーハWの研磨前に研磨ヘッド1および研磨テーブル3の回転を止めた状態で、撮像装置20は画像を生成してもよい。この場合は、参照パターンは、ラインアン

ドスペースパターン、あるいは同心楕円状のパターンであってもよい。

[0045] 図6に示す同心円からなる参照パターンの場合、上記式(1)から分かるように、ウェーハWのパターンのピッチ d を算定するためには、モアレ模様の位置を示すウェーハWのパターンの直線の本数 n を画像から求める必要がある。したがって、同心円からなる参照パターンは、ウェーハWのパターンのピッチがある程度大きい場合に適している。これに対し、図7に示す放射状パターンからなる参照パターンの場合、上記式(2)にウェーハWのパターンの直線の本数 n が含まれない。したがって、放射状パターンからなる参照パターンは、ウェーハWのパターンのピッチが微細な場合に適している。

[0046] 図8は、研磨装置の他の実施形態を示す模式図である。特に説明しない本実施形態の構成および動作は、図1に示す実施形態と同じであるので、その重複する説明を省略する。研磨装置は、光源50と、第1プリズム51と、第2プリズム52をさらに備えている。光源50、第1プリズム51、第2プリズム52、格子24、および撮像装置20は、研磨テーブル3内に配置されており、研磨テーブル3と一体に回転する。光源50、第1プリズム51、第2プリズム52、格子24、および撮像装置20の相対位置は固定である。

[0047] 第1プリズム51および第2プリズム52は、格子24に関して対称的に配置され、格子24の下に位置している。光源50は第1プリズム51を向いて配置され、撮像装置20は第2プリズム52を向いて配置されている。光源50には、白色光源が使用されている。より具体的には、白色光を発する発光ダイオードが光源50として使用される。光源50と第1プリズム51との間に、収束レンズを配置してもよい。同様に、撮像装置20と第2プリズム52との間に、収束レンズを配置してもよい。

[0048] 光源50から発せられた白色光は、第1プリズム51を通過するとき、屈折率の違いにより、格子24を通過してウェーハWの表面に向かう第1の光(例えば赤色の光)と、格子24で反射する第2の光(例えば、青色の光)

に分解される。第1の光は、格子24を通過した後、ウェーハWの表面（パターン面）で反射し、格子24を再び透過した後、第2プリズム52を通過し、そして撮像装置20に入射する。第2の光は、格子24で反射し、第2プリズム52を通過した後、撮像装置20に入射する。第2プリズム52を通過した第1の光および第2の光は、互いに重畳し、撮像装置20に入射する。撮像装置20は第1の光および第2の光から画像を生成する。この画像上にはモアレ模様が現れる。画像解析システム30は、先に説明した実施形態と同様に、画像上のモアレ模様を解析することで、ウェーハWのパターンのピッチを算定することができる。

[0049] 図9は、研磨装置のさらに他の実施形態を示す模式図である。特に説明しない本実施形態の構成および動作は、図1に示す実施形態と同じであるので、その重複する説明を省略する。研磨装置は、光源54およびビームスプリッタ55をさらに備えている。光源54およびビームスプリッタ55は研磨テーブル3内に配置されており、研磨テーブル3と一体に回転する。ビームスプリッタ55にはハーフミラーを使用することができる。光源54、ビームスプリッタ55、格子24、および撮像装置20の相対位置は固定である。

[0050] 格子24は、通孔2bと撮像装置20と一直線上に配置されていなく、格子24と光源54は、通孔2bと撮像装置20とを結ぶ直線に関して対称的に配置されている。ビームスプリッタ55は、通孔2bと撮像装置20との間に配置され、かつ通孔2bと撮像装置20とを結ぶ直線に対して斜めに配置されている。光源54と格子24は、ビームスプリッタ55に関して対称的に配置されている。光源54は、ビームスプリッタ55の一面を向いており、光源54の光軸上に格子24が配置されている。格子24は、反射体24aとパターン層24bを有している。パターン層24bは反射体24aの前面に固定されており、参照パターンはパターン層24bに形成されている。

[0051] 光源54から発せられた光は、ビームスプリッタ55で反射する第1の光

と、ビームスプリッタ 5 5 を通過する第 2 の光に分解される。第 1 の光は、通孔 2 b を通過してウェーハ W の表面（パターン面）に入射する。第 1 の光はウェーハ W の表面で反射し、ビームスプリッタ 5 5 を通過して撮像装置 2 0 に入射する。第 2 の光は、ビームスプリッタ 5 5 を通過し、格子 2 4 に入射する。第 2 の光は、格子 2 4 で反射し、さらにビームスプリッタ 5 5 で反射した後、撮像装置 2 0 に入射する。

[0052] ウェーハ W で反射した第 1 の光および格子 2 4 で反射した第 2 の光は、互いに重畳し、撮像装置 2 0 に入射する。撮像装置 2 0 は第 1 の光および第 2 の光から画像を生成する。この画像上にはモアレ模様が現れる。画像解析システム 3 0 は、先に説明した実施形態と同様に、画像上のモアレ模様を解析することで、ウェーハ W のパターンのピッチを算定することができる。

[0053] 上述した各実施形態では、画像上のモアレ模様の幾何学的要素（線幅など）に基づいて、ウェーハ W のパターンの幾何学的要素を算定するが、一実施形態では、画像解析システム 3 0 は、撮像装置 2 0 から画像を取得し、画像上のモアレ模様を、データベースに格納されている複数の参照画像上の参照モアレ模様と比較し、画像上のモアレ模様に最も一致する参照モアレ模様を持つ参照画像を決定し、決定された参照画像に関連付けられたパターンの幾何学的要素を決定するように構成されてもよい。以下、この実施形態について説明する。

[0054] 図 1 0 は、複数の参照画像が格納されたデータベースを有する研磨装置の一実施形態を示す模式図である。特に説明しない本実施形態の構成および動作は、図 1 に示す実施形態と同じであるので、その重複する説明を省略する。

[0055] 図 1 0 に示すように、画像解析システム 3 0 は、その記憶装置 3 0 a に格納されたデータベース 6 0 を備えている。データベース 6 0 には、異なるパターンを持つ複数の参照ウェーハ（参照ワークピース）を、図 1 0 に示す研磨装置を用いて研磨しているときに生成された複数の参照画像が格納されている。各参照画像には、各参照ウェーハのパターンと、格子 2 4 の参照パタ

ーンのそれぞれの幾何学的要素に依存したモアレ模様が現れている。

[0056] 参照画像の生成に使用された複数の参照ウェーハのパターンのピッチなどの幾何学的要素は、電子顕微鏡または光学顕微鏡などの拡大装置（図示せず）によって予め測定されている。これらの参照ウェーハのパターンの幾何学的要素は、データベース60に入力され、対応する参照画像に関連付けられた（結び付けられた）状態で、データベース60内に格納されている。

[0057] 図11は、ウェーハWの研磨中に生成された画像上のモアレ模様を、複数の参照画像上の参照モアレ模様と比較する工程を説明するための図である。複数の参照画像間において格子24の参照パターンP2は同じであるが、参照ウェーハのパターンP3は異なっている。結果として、複数の参照画像上に現れる参照モアレ模様も異なっている。

[0058] 図11に示すように、画像解析システム30は、パターンP1を有するウェーハWの研磨中に生成された画像に現れているモアレ模様を、複数の参照画像上の参照モアレ模様と1つずつ比較し、ウェーハWの研磨中に生成された画像上のモアレ模様に最も一致する参照モアレ模様を持つ参照画像を決定し、決定された参照画像に関連付けられたパターンの幾何学的要素を決定する。画像上のモアレ模様と参照モアレ模様との比較は、パターンマッチングなどの公知の画像処理アルゴリズムを使用して実行される。

[0059] 一実施形態では、ウェーハWの研磨前に研磨ヘッド1および研磨テーブル3の回転を止めた状態で、撮像装置20は画像を生成してもよい。この場合は、参照パターンは、ラインアンドスペースパターン、あるいは同心楕円状のパターンであってもよい。図10および図11を参照して説明した実施形態は、上述した図8に示す実施形態および図9に示す実施形態に適用することができる。

[0060] 上述した各実施形態では、パターン拡大装置として格子24が採用されているが、別の実施形態では、パターン拡大装置として、複数のレンズの組み合わせを有した拡大鏡を採用してもよい。

[0061] 次に、撮像装置によって生成された画像に基づいて、ワークピースの一例

であるウェーハの研磨終点を決定する実施形態について説明する。特に説明しない本実施形態の構成は、図 1 乃至図 11 を参照して説明した各実施形態と同じであるので、その重複する説明を省略する。

[0062] 画像解析システム 30 は、撮像装置 20 によって生成された画像に基づいてウェーハ W の研磨終点を決定するように構成されている。より具体的には、画像解析システム 30 は、後述するように、撮像装置 20 によって生成された画像に基づいてウェーハ W の研磨終点を決定するためのプログラムが格納された記憶装置 30a と、プログラムに含まれる命令に従って演算を実行する処理装置 30b を備えている。動作制御部 40 は、ウェーハ W の研磨終点を示す信号を画像解析システム 30 から受けてウェーハ W の研磨を終了させるように構成されている。

[0063] 図 4 および図 5 に示すようなモアレ模様は、ウェーハ W のパターン P1 がウェーハ W の表面上に現れたときに発生する。言い換えれば、ウェーハ W のパターン P1 が膜によって覆われているときは、画像にモアレ模様は現れない。

[0064] 図 12A および図 12B は、ウェーハ W の断面構造の一例を示す模式図である。図 12A に示すように、ダマシン法などの配線形成工程においては、配線溝から形成されたパターン P1 の上に膜 70（例えば銅などの金属膜）が形成される。そして、図 1 に示す研磨装置で膜 70 が研磨されると、図 12B に示すように、パターン P1 がウェーハ W の表面上に現れる。ウェーハ W の研磨終点は、膜 70 の余剰部分が研磨によって除去され、パターン P1 が明確に現れた時点である。

[0065] 図 12A から分かるように、パターン P1 が膜 70 で覆われているときは、撮像装置 20 によって生成された画像上ではウェーハ W のパターン P1 と格子 24 の参照パターン P2 は重ならない。したがって、モアレ模様は画像上に現れない。これに対し、図 12B に示すように、膜 70 の余剰部分が除去されると、ウェーハ W のパターン P1 は画像上に現れる。その結果、ウェーハ W のパターン P1 と格子 24 の参照パターン P2 が重なり、モアレ模様

が画像上に現れる。

[0066] 画像解析システム30は、ウェーハWのパターンP1と格子24の参照パターンP2との重なりに起因して画像に現れるモアレ模様に基づいてウェーハWの研磨終点を決定するように構成されている。本実施形態では、画像解析システム30は、画像上のモアレ模様の鮮明度に基づいてウェーハWの研磨終点を決定する。より具体的には、画像解析システム30は、モアレ模様の鮮明度が変化しなくなった時点である研磨終点を決定する。

[0067] モアレ模様の鮮明度は、指標数値で表すことができる。一実施形態では、モアレ模様の鮮明度は、変調伝達関数で表される指標数値である。変調伝達関数で表される指標数値は、MTF値とも呼ばれる。モアレ模様が明瞭に現れるにつれて、MTF値は上昇する。ウェーハWの研磨中、撮像装置20は、ウェーハWの表面（被研磨面）と格子24の参照パターンP2の画像を連続的に生成し、画像解析システム30は、画像を撮像装置20から取得し、画像上のモアレ模様の鮮明度を示す指標数値を算定するように構成される。

[0068] 図13は、図12Aに示すウェーハWを研磨しているときの画像上のモアレ模様の鮮明度を示す指標数値の変化を示す図である。図13において、縦軸は指標数値（例えばMTF値）を表し、横軸は研磨時間を表している。図13に示すように、研磨初期段階では、ウェーハWのパターンP1は膜70で覆われているため（図12A参照）、モアレ模様は画像には現れない（時間t1）。ウェーハWの研磨が進行するにつれて、膜70が徐々に除去され、ウェーハWのパターンP1が現れ始める（時間t2）。このとき、モアレ模様も、不明瞭ではあるが、画像上に徐々に現れ始める。

[0069] そして、膜70の余剰部分が完全に除去されると（図12B参照）、ウェーハWのパターンP1が明瞭に現れる。（時間t3）。結果として、ウェーハWのパターンP1と格子24の参照パターンP2との重なりに起因してモアレ模様が画像に明瞭に現れる。この時間t3は、ウェーハWの研磨終点である。その後は、画像上のモアレ模様の鮮明度はほとんど変わらないので、指標数値もほぼ一定である。

[0070] このように、ウェーハWの研磨中、指標数値は特徴的に変化するので、画像解析システム30は、指標数値の変化に基づいてウェーハWの研磨終点を決定することができる。より具体的には、画像解析システム30は、指標数値が上昇し、その後指標数値が実質的に一定になった時点である研磨終点を決定する。本実施形態では、以下に説明するように、指標数値の変化率に基づいて研磨終点を決定する。

[0071] 図14は、指標数値の変化率を示すグラフである。図14において、縦軸は指標数値の変化率（絶対値）を表し、横軸は研磨時間を表す。指標数値の変化率は、単位時間当たりの指標数値の変化量であり、図13に示す指標数値のグラフの傾きを表している。単位時間は、例えば、研磨テーブル3がN回転するのに要する時間である（Nは自然数であり、例えばN=1）。図14に示すように、指標数値の変化率は、一旦上昇して極大値となり、その後低下し、やがて実質的に一定となる。画像解析システム30は、ウェーハWの研磨中に指標数値の変化率を算定し、変化率が第1のしきい値よりも大きくなった時点を検出し、その後変化率が第2のしきい値よりも小さくなった時点である研磨終点を決定するように構成されている。第1のしきい値は、第2のしきい値と同じであってもよく、または異なってもよい。

[0072] 一実施形態では、画像解析システム30は、指標数値の変化率（絶対値）の移動平均値を算定し、移動平均値が第1のしきい値よりも大きくなった時点を検出し、その後移動平均値が第2のしきい値よりも小さくなった時点である研磨終点を決定するように構成されてもよい。

[0073] 図1に示すように、画像解析システム30は、動作制御部40に接続されている。画像解析システム30によって決定されたウェーハWの研磨終点を示す信号は、動作制御部40に送られる。動作制御部40は、画像解析システム30から送られた信号を受け取ると、ウェーハWの研磨を終了する。

[0074] 図13のグラフから分かるように、画像上のモアレ模様の鮮明度を示す指標数値は、膜70（図12A参照）の厚さに対応する。したがって、撮像装置20は、研磨テーブル3が一回転するたびに、ウェーハW上の複数の測定

点において、重なり合ったウェーハWのパターンおよび参照パターンP2の複数の画像を取得し、画像解析システム30は、これら複数の画像を撮像装置20から取得し、複数の画像上のモアレ模様の鮮明度を示す複数の指標数値を算出し、複数の指標数値からウェーハWの膜厚プロファイルを作成してもよい。この膜厚プロファイルは、ウェーハWの研磨条件の最適化に使用することができる。例えば、動作制御部40は、ウェーハWの膜厚プロファイルに基づいて、研磨ヘッド1がウェーハWに加える研磨荷重を最適化する。

[0075] 一実施形態では、格子24は、重なり合う複数の参照パターンを有してもよい。重なり合う複数の参照パターンを用いると、画像上のモアレ模様は大きくなり、画像解析システム30は、モアレ模様の鮮明度を示す指標数値を算定しやすくなることがある。

[0076] 上述した図8に示す実施形態および図9に示す実施形態は、図12A乃至図14を参照して説明した実施形態に適用することができる。この場合でも、画像解析システム30は、先に説明した実施形態と同様に、画像上のモアレ模様に基づいてウェーハWの研磨終点を決定することができる。

[0077] 上述した実施形態は、本発明が属する技術分野における通常の知識を有する者が本発明を実施できることを目的として記載されたものである。上記実施形態の種々の変形例は、当業者であれば当然になしうることであり、本発明の技術的思想は他の実施形態にも適用しうる。したがって、本発明は、記載された実施形態に限定されることはなく、特許請求の範囲によって定義される技術的思想に従った最も広い範囲に解釈されるものである。

産業上の利用可能性

[0078] 本発明は、ピッチなどのパターンの幾何学的要素を検出する研磨装置および研磨方法に利用可能である。また、本発明は、ワークピースの研磨終点を決定する技術に利用可能である。

符号の説明

[0079] 1 研磨ヘッド
 2 研磨パッド

2 b	通孔
3	研磨テーブル
3 a	テーブルシャフト
5	スラリー供給ノズル
6	テーブルモータ
10	ヘッドシャフト
17	連結手段
18	研磨ヘッドモータ
20	撮像装置
24	格子
30	画像解析システム
30 a	記憶装置
30 b	処理装置
40	動作制御部
50	光源
51	第1プリズム
52	第2プリズム
54	光源
55	ビームスプリッタ
60	データベース
70	膜