

CMP 終点検出モニタ用渦電流式センサとその応用

三 谷 隆一郎*

Eddy Current Sensor for Endpoint Monitoring of a Chemical-Mechanical Polishing System

by Ryuichiro MITANI

Eddy current sensor have been developed for precise monitoring of wafer polishing endpoints in CMP systems. The sensor enhances the preciseness of endpoint detection, greatly improves the planarity of metal films, and thus satisfies demands in the ever-progressing semiconductor device market.

Keywords: Eddy current, Rresonance frequency, Excitation frequency, Resistance component, Inductive reactance, Rotary connector, Synchronous circuit

1. はじめに

近年、半導体デバイスの高集積化・高密度化に伴い、回路の配線がますます微細化し、多層配線の層数も増加している。回路の微細化を図りながら多層配線（図1）を実現しようとする場合、配線層表面の凹凸の積み重ねにより、上層に行くほど凹凸が大きくなり、微細化された配線を積み重ねていくことが困難になる。このため半

導体製造工程においては、配線層を形成するたびに平坦化を行う必要があり、これを行う工程でCMP装置（化学的機械研磨装置）が使用されている。

半導体の配線は、ウェーハ面上の絶縁層に設けられた配線用の溝（図2①）の上に、PVD, CVD, Plating等によって金属膜を形成（図2②）した後、CMP装置によって溝の中の金属を残して不要な金属を除去（図2③）して形成されている（図2④）。

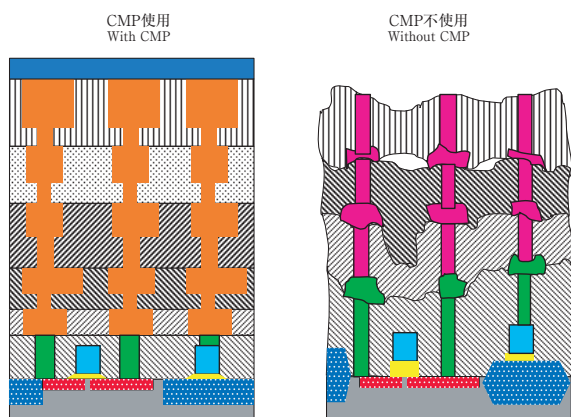


図1 CMP有無の多層化の違い
Fig. 1 Difference in multi-layers with and without CMP

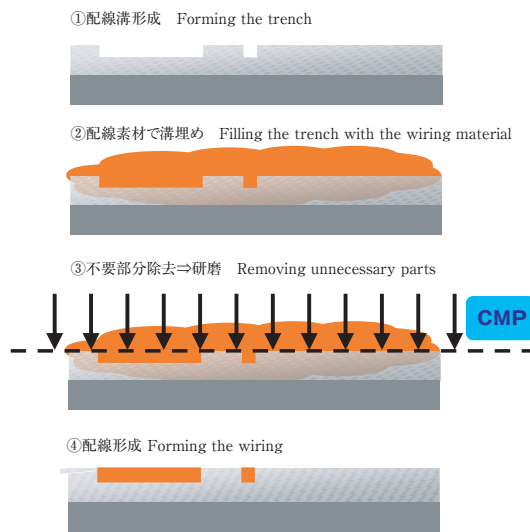


図2 配線の形成
Fig. 2 Formation of wiring

* 精密・電子事業カンパニー CMP事業部 CMP制御システム室 EPD開発グループ

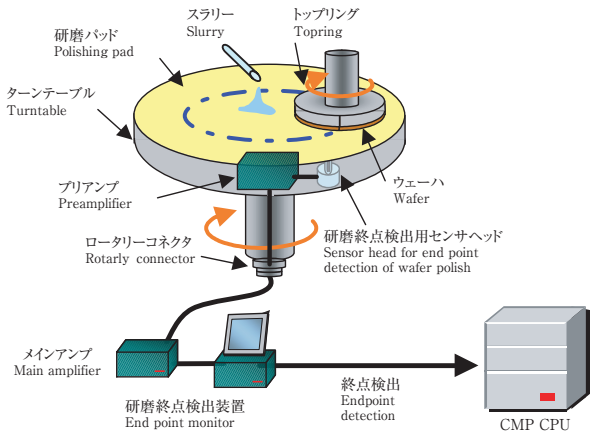


図3 CMP 機器構成
Fig. 3 Structure of CMP system

図3に示すとおりCMP装置による研磨は、研磨剤を含む液体（スラリー）をターンテーブルに貼り付けられた研磨パッド上に流し、そこにトップリングにセットされたウェーハを押し当てて行う。

CMP装置の研磨速度（単位時間あたりに研磨される膜厚）は、前工程で発生するウェーハ表面状態のばらつきや、研磨パッドの磨耗状態、スラリーの微妙な変化に影響されてばらつきが生じる。もし、研磨が不十分であると回路間の絶縁がとれずショートする恐れが生じ、また過研磨となった場合は、配線の断面積が減ることによる抵抗値の上昇や、配線自体が完全に除去され回路自体が形成されないなどの問題が生じる。このためCMP装置は、研磨終点検出装置を搭載して最適な研磨終了点の検出を行うことで、これらの問題を解決している。

研磨終点検出装置には、テーブルモータの電流値の変化を監視するテーブル電流式センサ、ウェーハに光を当てその変化を監視する光学式センサ、ウェーハに磁力線を当てそこに発生する渦電流による磁力線の変化を監視する渦電流式センサの3種類のセンサを選択して搭載可能であり、絶縁膜や金属膜など研磨する膜の種類に応じて、これらのセンサを単独もしくは組み合わせて用い、最適な研磨終点の検出を行っている。

本稿では、これらのセンサの中から渦電流式センサについて紹介する。

2. 渦電流式センサ

2-1 概要

高周波交流電源に接続されたセンサ内のコイルから発生する磁力線が導電性の膜を通過すると、ウェーハ面上

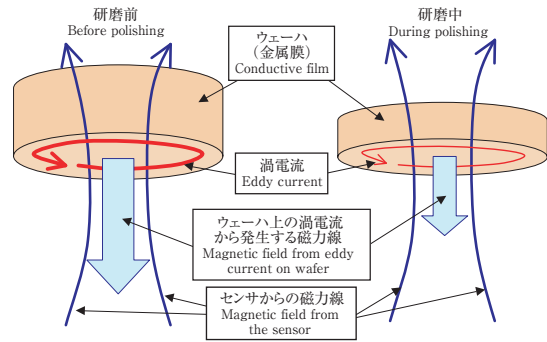


図4 金属膜と渦電流の変化
Fig. 4 Changes in conductive film and eddy current

に渦電流が発生する。この渦電流は、金属膜の抵抗、すなわち金属膜の厚さに応じて大きさが変化する。一方、渦電流が流れると当初の磁力線とは逆方向に磁力線が発生する。この逆方向に発生する磁力線の強度を測定することによって、金属膜の厚さの変化を計測することができる。これが渦電流式センサの原理である。

渦電流式センサは、ターンテーブルの下に設置され、テーブルを貫く方向に磁力線を発生している。テーブルが回転すると渦電流式センサはテーブルと共に回転し、トップリングに保持されたウェーハの下を通過する。このとき、ウェーハ面上に導電性の膜が存在すると、磁力線が導電性の膜を通過するため、上述の原理に基づいて、導電性の膜の厚さが計測できるのである。

図4に示すとおり、CMP装置によりウェーハの研磨が進行すると、ウェーハ面の金属膜が減少し、これに伴って金属膜の抵抗値が上昇する。すると、渦電流式センサが発生する磁力線によって生じる渦電流が減少するため、反対方向に発生する磁力線の強さも減少する。渦電流式センサは、この磁力線の変化をセンサ内の回路と研磨終点検出装置のソフトウェアによって膜厚の変化量に対応した電圧に変換している。

金属など導電率が高い材料ほど渦電流が流れやすく、膜厚変化に対する感度が大きくとれるため、渦電流式センサは、主に銅（Cu）、タングステン（W）などの金属材料の配線部分における終点検出に使用されている。

渦電流式センサによる研磨終点の検出は、研磨が終了した状態のウェーハに対して渦電流式センサの検出電圧をあらかじめ計測して研磨終点検出装置に記憶しておく、この値と、ウェーハ研磨中の渦電流式センサの電圧

値を比較することで行う。

2-2 CMP 装置への搭載

図3に示すとおり、渦電流式センサシステムは、研磨終点検出用センサヘッド、プリアンプ、メインアンプ、及び研磨終点検出装置から構成される。センサヘッドとプリアンプはターンテーブル下に搭載されてターンテーブルと共に回転する。メインアンプと研磨終点検出装置はターンテーブルの外部に搭載される。センサヘッドからの信号は、回転する機器との電気的接続を可能にするロータリーコネクタを介してメインアンプに接続している。

図5に渦電流式センサの構成を示す。

センサヘッドは、ウェーハを貫く磁力線を作り出す励磁コイル、ウェーハ上で渦電流により発生した磁力線を検出する検出コイル、受信した磁力線から位相変換により抵抗成分 (V_x) と誘導リアクタンス成分 (V_y) の信号に分離、出力する検波回路から構成される。

メインアンプはセンサヘッドからの信号を増幅し研磨終点検出装置に出力する。

研磨終点検出装置はこの信号をソフトウェアにより膜厚に関連した電圧値に変換し、レシピによりあらかじめ決められた条件を満足した時点でCMP装置に研磨終点の検出を通知して、CMP装置はウェーハの研磨を終了する。

3. 応用技術

3-1 渦電流式センサ プロファイルクローズドループ制御

図6に示すとおり、ウェーハを保持するトップリングは、内部に同心円状に配置された複数のドーナツ状エアバッグを備えており、各エアバッグの内部圧力を調整することによって、ウェーハ面内の場所ごとに研磨速度を調整することができるようになっている。

研磨終点検出装置は、研磨進行中に、渦電流式センサ

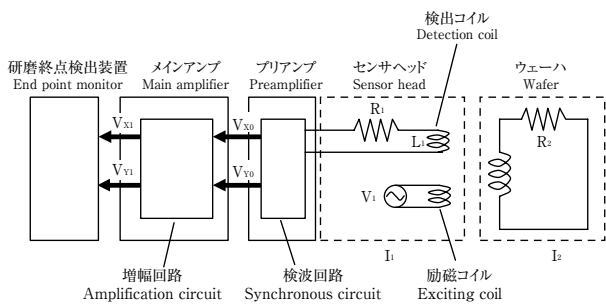


図5 渦電流式センサ構成
Fig. 5 Eddy current sensor structure

によってウェーハ面内の膜厚分布をモニタし、膜厚分布に応じてトップリング内の各エアバッグの圧力制御を行う機能（渦電流式センサプロファイルクローズドループ制御機能）を備えている。

この機能（図7）によって、ウェーハ面の形状が、平坦、ウェーハ端部の膜厚を薄くする、ウェーハ中心部の膜厚を薄くするなどのあらかじめ指定されたターゲットプロファイルになるように研磨することができる。

本機能は、Cu, Wの両金属膜に対して使用可能であり、既に半導体製造ラインで使用されている。

3-2 デジタル化渦電流式センサ

渦電流式センサの性能と安定性の向上のため、アナログ処理部分をデジタル処理に置き換えたデジタル化渦電流式センサを製品化した。

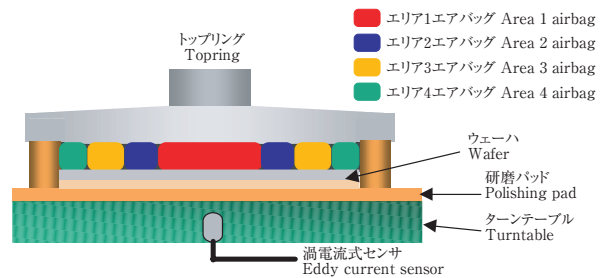


図6 トップリング構成
Fig. 6 Structure of topring

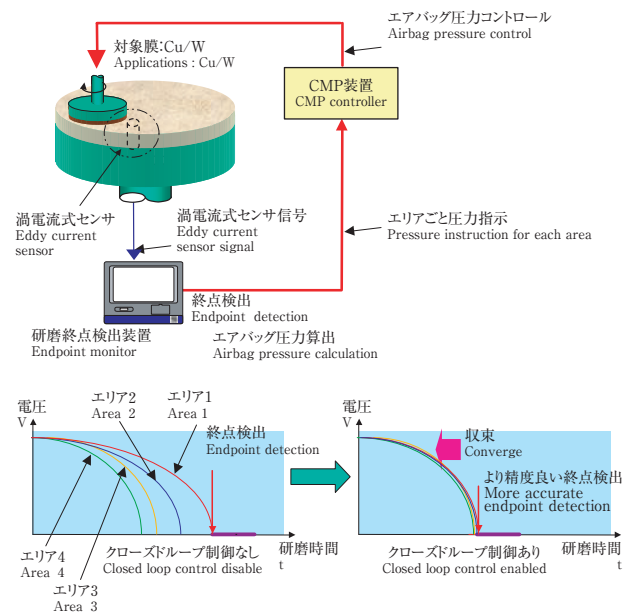


図7 渦電流式センサ処理概要
Fig. 7 Summary of eddy current closed loop control

表 渦電流式センサ研磨プロセス一覧
Table Applications of eddy current sensor

プロセス (被研磨膜) Process (Polished layer)	検出点 Detection point
Cu	① Cu 膜厚止め Cu thickness target value ② Cu クリア Cu clear
Ta* ¹ , TaN* ²	Ta, TaN クリア Ta, TaN clear
W/Ti* ³ /TiN* ⁴	① W 膜厚止め W target thickness value ② Ti/TiN クリア Ti/TiN Clear

*1: タンタル *2: 窒化タンタル *3: チタン *4: 窒化チタン
*1: Tantalum *2: Tantalum Nitride *3: Titanium *4: Titanium Nitride

デジタル化渦電流式センサは、センサヘッドから研磨終点検出装置までの間の信号伝送部をアナログ処理からデジタル処理に変更したことでS/N比を向上させた。また、機器・回路構成の見直しによるセンサ部分の改良により共振周波数を上昇させることで信号の安定性を向上させた。

これらの改良により、デジタル化渦電流式センサはノイズ除去のためのフィルタ処理を軽減することが可能となり、研磨終点検出の精度が従来の渦電流式センサシステムと比較して向上している。また、前述の渦電流式センサプロファイルクローズドループ制御機能も使用可能であり、ウェーハ面のプロファイルコントロールについても精度の向上を図ることが可能となっている。デジタル化渦電流式センサは既に半導体製造ラインで稼働している。

4. プロセス事例

4-1 適用可能プロセス

表に渦電流式センサの適用可能プロセス一覧を示す。

表の「Cu クリア」は、図2④で示すとおり、絶縁膜の溝からはみ出した不要な金属を完全に除去した時点の意味する。また、「Cu 膜厚止め」はウェーハ上に所定の膜厚の金属を残した状態を検出することで研磨を終了することを意味する。表に示すほかの材料についても、クリア、膜厚止めの意味するところは前記と同様である。

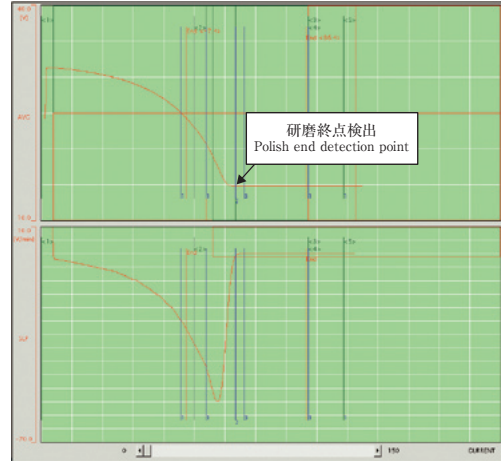


図8 渦電流式センサ研磨波形
Fig. 8 Signal by eddy current sensor

4-2 渦電流式センサを使用した終点検出

図8に、配線形成過程におけるCuクリアプロセスを行った時の渦電流式センサ出力データを示す。図8上図は、縦軸が膜厚に対応する電圧を、横軸がCMP装置による研磨時間を示している。図8下図は、図8上図の電圧の微分値を示している。

時間の経過とともにCu膜厚が減少していき、酸化膜上の配線溝からはみ出した金属膜をすべて研磨して除去できると、ウェーハの抵抗値の変化がなくなり渦電流式センサの出力電圧値が一定となる。この時点で、Cuクリアプロセスが完了したと判断し、研磨終点検出装置から研磨終点が検出されたことをCMP装置に通知する。

5. おわりに

半導体製品は、高性能化やコストダウンのため、集積度の向上、配線幅や配線高さの微細化を今後も追求していく。これは設計上の誤差範囲が狭くなることを意味するため、配線形成工程や絶縁膜平坦化工程において、CMP装置による研磨処理の終点検出に対する精度向上の要求が厳しくなることは必至である。

当社は、渦電流センサの検出精度向上をはじめ、絶縁膜の平坦化性能を高めるための開発を進め、将来にわたり進化が続く半導体製品からの厳しいプロセス要求を満足するCMP装置の提供を行っていく。