

酸化膜CMP用光学式終点検出モニタ

大田真朗* 中井俊輔** 辻仁志**

Optical Endpoint Monitoring System for Oxide-CMP

by Shinrou OHTA, Shunsuke NAKAI, & Hitoshi TSUJI

An optical endpoint detection monitoring system for oxide-CMP has been developed. Multi-wave-length halogen lamps are used as the light source and optical paths are formed by applying D.I. water to the measured point while the polishing is in progress. Data processing makes use of both clear optical paths and the advantages carried by multi-wave-lengths, thus attaining stable monitoring wave forms which feature low-noise and minimized pattern structure influences. The following introduces and discusses system components and gives examples of actual usage in STI and ILD processes.

Keywords: CMP, Endpoint detection, Oxide layer, Optical monitor, Multi-wave length, Water supply system, ILD-CMP, STI-CMP, Optical interference

1. はじめに

半導体製造工程において、絶縁膜成膜後の平坦化や金属配線の形成過程でCMP (Chemical Mechanical Polishing) が使われている。CMPに要求される重要な技術の一つとして研磨終点検出がある。CMPで研磨するウェーハ上の膜厚は数百から数千nmであるが、目標の研磨終点に対する過研磨、不足研磨は製品不良に直結するため研磨量を厳しく管理しなければならない。しかし、CMPは複雑で微妙なプロセスである。研磨プロセスに直接かかわる消耗品 (研磨布、スラリー、ドレッサーなど) のわずかな品質のばらつきや経時変化の影響で研磨レートが変化する。加えて成膜厚さや膜質のばらつきもあり、時間指定の研磨では目標の研磨終点を得ることは困難である。このような事情から、研磨中の膜厚変化をモニタできる精度のよい終点検出モニタ (EPM: End Point Monitor, 終点検出モニタ) はCMPの生産性向上、半導体製品の歩留まり向上のためには欠かせない技術となっている。

当社では金属膜CMP用に渦電流式EPMを開発済みで

ある。一方、酸化膜CMPではテーブルモータ電流をモニタする方式で対応してきたが、プロセス依存度が大きく、限られた研磨プロセスにしか適用できていなかった。

本稿では、従来困難であったILD (Inter Layer Dielectrics) プロセスをはじめとする酸化膜系CMPプロセスに適用できる光学式EPMを開発したので紹介する。

2. 光学式EPMの測定原理

研磨中の膜厚の変化は光の干渉を利用してモニタしている。光は電磁波の一種であり波の性質をもつ。図1に示すように、基板上の光透過性の薄膜に光が入射したとき、反射光の強度は薄膜の表面からの反射光 (R1) と基板との界面からの反射光 (R2) を合成したものになる。このときR2が薄膜内を通過する光路の長さに応じて両反射光の間に位相差が生じ、反射強度に強弱が生まれる。したがって、研磨により膜厚が変化すると位相差が変化して反射光の強度が周期的に変わることになる。この反射強度変化をモニタすれば膜厚変化量を知ることができる。

位相差 2δ は下式で表され、 n と λ により反射強度のピーク間隔が決まる。

$$\delta = 2\pi nd/\lambda$$

n : 薄膜の屈折率, d : 薄膜の厚さ, λ : 真空中の光の波長

* 精密・電子事業本部 技術統括 開発センター 第一プロセス開発室

** 同 装置事業部 制御技術センター 開発部

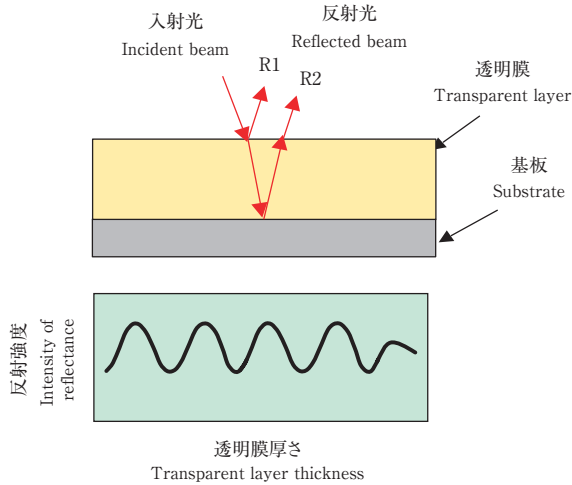


図1 測定原理
Fig. 1 Principle of measurement

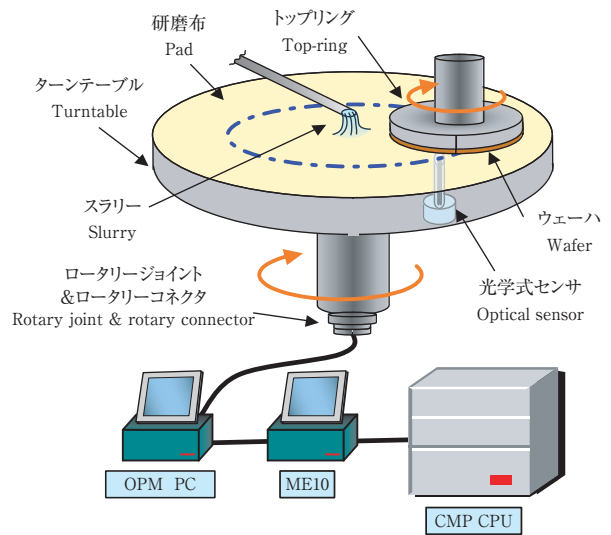


図2 CMP搭載図
Fig. 2 EPM system on CMP

しかし、実際にCMPで削る膜は微細配線が多層に形成された最上層の凹凸膜であり、更に研磨中のウェーハ表面には研磨低粒や削り屑が付着している。これらの下地構造の影響や付着物などによる信号のゆがみやノイズを分離して、膜厚と相関した信号だけを取り出すことが本技術のポイントの一つである。

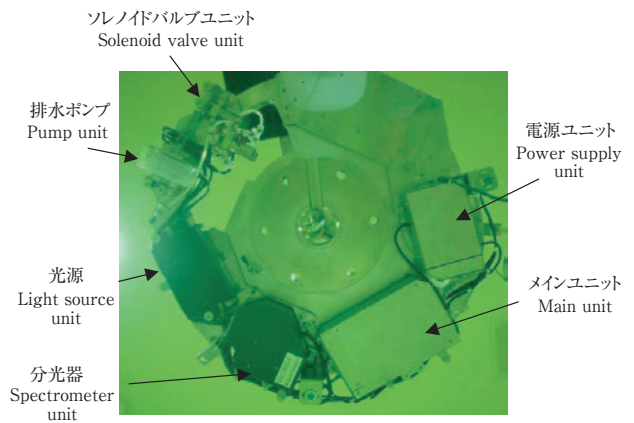
3. システム構成

3-1 CMPへの搭載

図2にCMPへの光学式EPMの搭載図を示す。CMPはトップリングで保持したウェーハを研磨テーブル上に貼られた研磨布に押し付けて研磨し、ウェーハ表面の凹凸膜を削り平坦化するプロセスである。研磨中のウェーハ面に光を照射するため、センサヘッドは研磨テーブルのウェーハ中心を通過する位置に埋め込まれ、テーブル1回転ごとにウェーハ下を通過する間に測定が行われる。測定に必要な光学機器、給排水用の部品はテーブル裏面に取り付けられ(写真1)、外部のコンピュータや給水配管とはロータリーコネクタ、ロータリージョイントを介して接続されている。

3-2 センサヘッド構造

センサヘッド構造を図3に示す。センサヘッドには測定部に純水を供給するための給排水路が設けられ、給水路内に投光用と受光用の光ファイバが挿入されている。光は透過性がよい純水を光路として研磨布に開けられた孔からウェーハ表面に入射する。研磨布に開けられた孔はできる限り小さくして(3×6 mmの楕円状)、研磨性能に影響を与えないように配慮した。写真2に研磨布



05-86 01/207

写真1 ターンテーブル裏面の機器
Photo 1 EPM parts on turntable backside

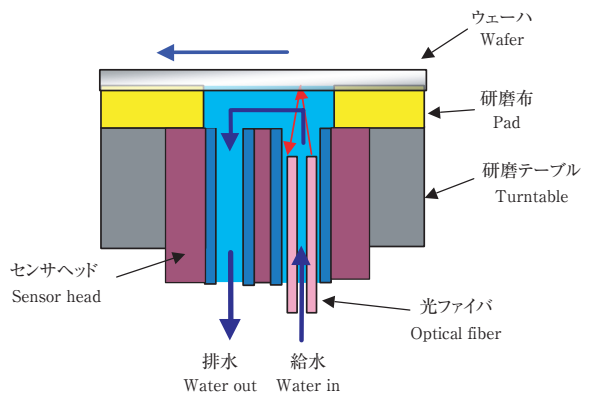
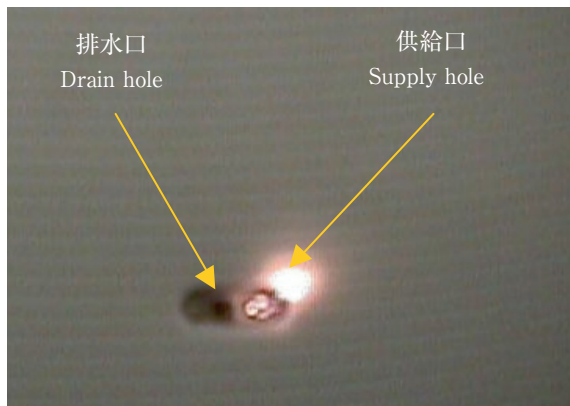


図3 センサヘッド
Fig. 3 Sensor head



05-86 02/207

写真2 測定孔

Photo 2 EPM parts on turntable backside

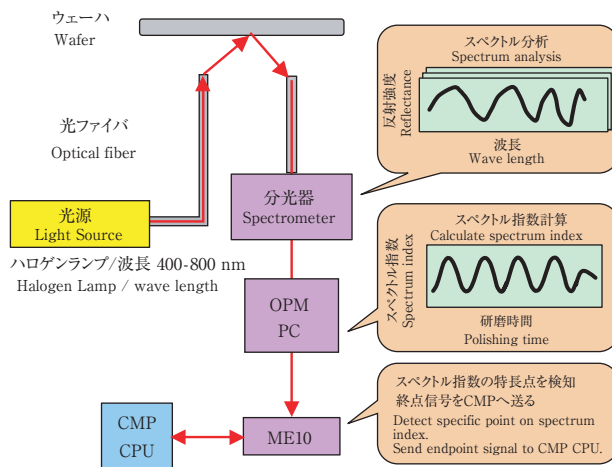


図4 光学システム

Fig. 4 Optical system

上の孔を示す。また、給水の目的は光ファイバ先端とウェーハ表面測定部位との間に透明な光路を形成することである。これを可能にするための給水システムについては後述する。

3-3 光学システム

図4に光学系のシステム構成を示す。各機器の機能は以下のとおりである。

光源：ハロゲンランプ、波長400～800 nm

分光器：反射光を分光し、各波長の強度をデジタル信号に変換する。

OPM PC：分光されたデータを処理して反射強度を指数化する。

ME-10：指数化されたデータの時間波形のノイズ除去処理を実施後、波形を解析して特徴点を検出し、終点信号をCMPへ送る。

本システムでは光源に多波長の光を採用しているので、任意の複数の波長データを選択して信号処理できる自由度がある。測定結果に応じて適切な波長を選択して処理すれば、反射光がウェーハのパターン形状や下地構造などから受ける影響を低減できて安定した波形を得ることが可能である。また、ME-10には、時間波形データやその微分値の極大、極小値、しきい値の設定などの特徴点を検出するメニューが多数用意されている。得られた波形に応じてこれらを組み合わせて終点検出条件を設定することができ、ミスの少ない終点検出を実現している。

3-4 給排水システム

CMPで使用するスラリーは不透明液で粒径数十から数百 nm の研磨粒子を含有している。このスラリーが測

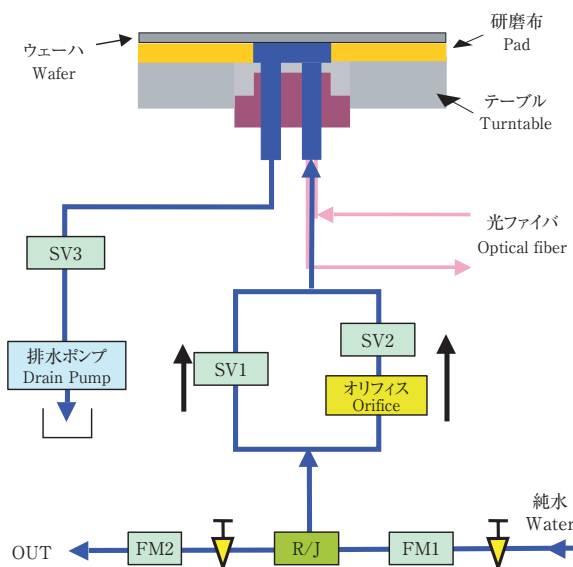


図5 給排水システム

Fig. 5 Water system

定部の純水中に混入すれば、光の透過率低下、散乱を招き正常な測定ができない。また、大量の純水が研磨布上に流出すればスラリーを希釈して研磨プロセスに悪影響を与えかねない。したがって、測定部への純水供給の要点は、測定時に光路の透明度を確保すること、研磨プロセスに悪影響を与えないことである。そのために、図5に示すように、給水路の一部を分岐して大流量を流す経路（バルブSV1側）と微小流量を流す経路（バルブSV2側）を設けた。センサがウェーハ下を通過する測定時は

SV1を開いて給水量を増やす。その結果、ウェーハ表面の洗浄と測定光路内に流入するスラリーの排除を効率よく行うことができ、スラリー混入による信号ノイズの発生を抑制している。また、測定中は研磨布の孔がウェーハで塞がれる形になるので供給水は排水路へ流れ研磨布上に流れ出ることもない。一方、センサがウェーハ下でない測定時以外ではSV1を閉じ、SV2側を通してオリフィスで規定された微小流量を流す。これによりスラリーによる光ファイバの汚染を防止すると共に研磨布上に流出する水量を制限している。

図6は平坦なシリコンウェーハ上に均一に形成された酸化膜をシリカ粒子を含むスラリーで研磨した時の波長400, 500, 600 nmの反射強度波形である。パターンの影響がないので膜厚の変化に伴い歪みの少ないサインカーブが得られている。ノイズもほとんどないことから信号処理を含めた測定系がうまく機能していることが分かる。また、短波長のほうが膜厚変化に対して短いピッチで極大極小が現れ、細かく膜厚変化をモニタできるが、スラリーやパターンの影響により信号に歪みやノイズが生じやすい難点がある。

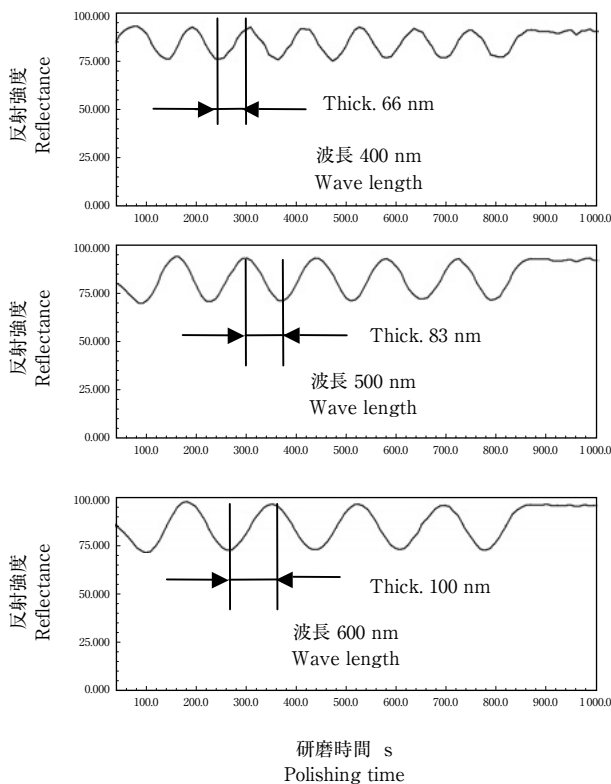


図6 酸化膜研磨時の反射強度
Fig. 6 Reflectance from blanket wafer

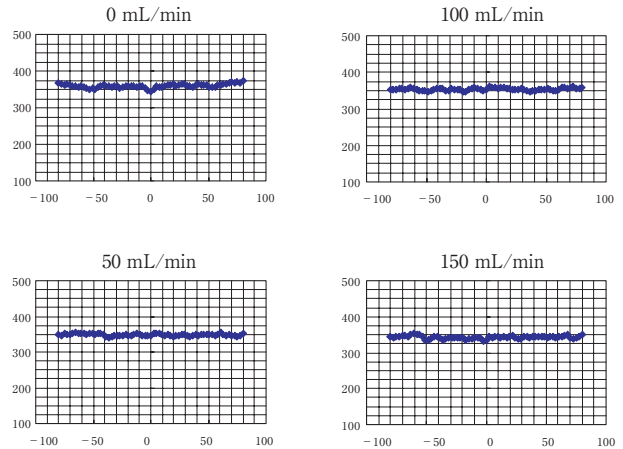


図7 給水量と研磨プロファイル
Fig. 7 Polishing profile v.s. water supply rate

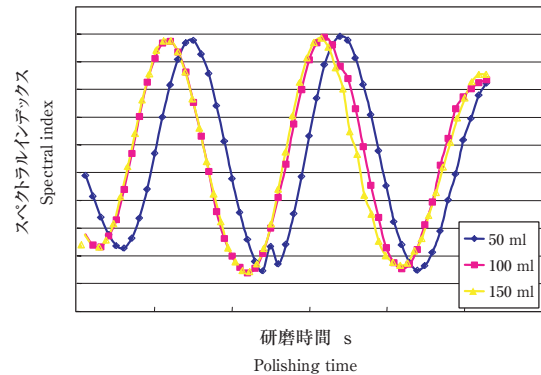


図8 モニタ波形
Fig. 8 Monitor trace

図7, 8は測定中の給水量を0~150 mLの範囲で変えて酸化膜を研磨し、研磨プロセスに与える影響を調べた結果である。図7はウェーハ直径上の研磨レートプロファイルを示しているが、いずれの条件もプロファイルに差異はなく供給水の影響がないことが分かる。図8はそのときのモニタ信号である。この条件ではいずれの水量でも問題なくモニタできているが、必要流量はスラリーの種類、研磨テーブル速度などの研磨プロセス条件により適切に定める必要がある。

4. プロセス事例

4-1 STI-CMP

図9, 10にSTI (Shallow Trench Isolation) プロセスの結果を示す。STIはシリコン基板上の溝に酸化膜を埋め込み、隣り合う半導体素子を絶縁分離する手法である。図9に示すようにCMPは最上層の酸化膜を削り、終点

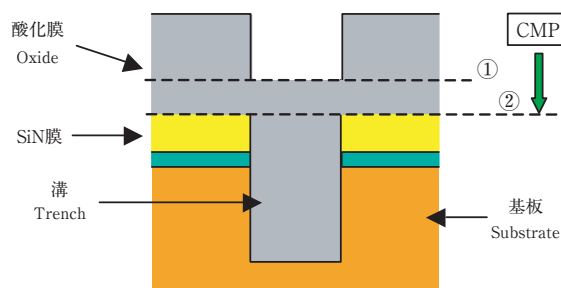


図9 STI膜構成
Fig. 9 STI structure

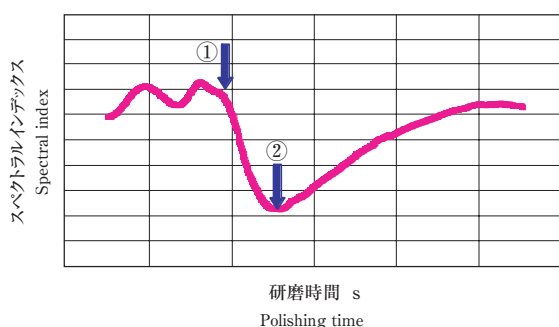


図10 STI-CMPのモニタ波形
Fig. 10 Monitor trace of STI-CMP

検出点はSiN膜がウェーハ全面において完全に露出した時点である。CMPには、研磨不足によりSiN上に酸化膜残りがなく、過研磨によりSiN膜の削り込みやトレンチ部の酸化膜が過度に削られてへこむディッシングを引き起こさないことが求められる。図10はセリアスラリーで故意に過研磨をした時のモニタ信号の変化を示している。この例では、酸化膜の凹凸部、平坦部、SiN部により研磨レートが変わることや酸化膜とSiNでは光学定数が異なることなどから、凹凸がなくなった点①とSiNが露出した点②で特徴的な変化が見られる。波形から目標終点である②の検知は容易であることが分かる。ただし、STIのパターン構成や各膜厚はデバイスの世代やデバイスメーカー各社によって異なり、デバイスが変われば当然モニタ波形も違った形状が現れる。研磨するデバイスに応じて終点検出レシピを最適化する必要がある。

4-2 ILD (層間絶縁膜) CMP

図11はDRAMを模擬したテストパターン上の厚さ1.2 μmのBPSG膜を研磨したときのモニタ波形である。極小、極大値が現れたところで研磨をとめて膜厚を測定

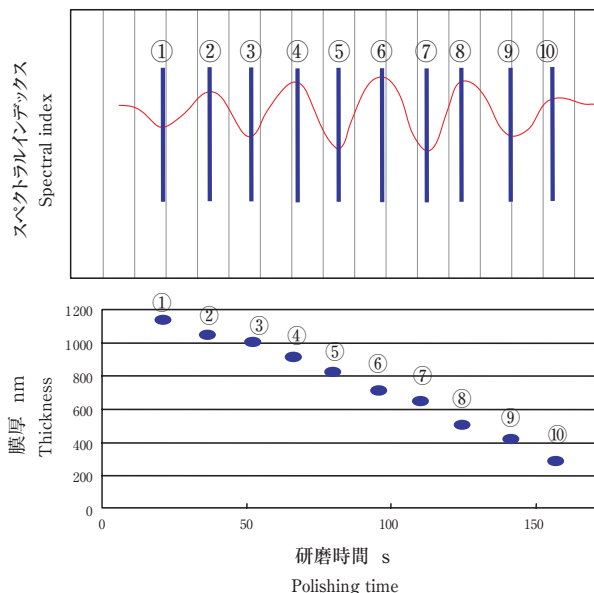


図11 層間絶縁膜CMPのモニタ波形
Fig. 11 Monitor trace of ILD-CMP

し、波形との関連を確認した。

この場合は各極大極小間の膜厚変化量は100 nm前後である。終点検出レシピを決める場合はこのように波形の特徴点と膜厚の関係をあらかじめ求め、目標膜厚の特徴点にきた時に研磨停止するレシピを組むことになる。目標膜厚が特徴点と一致しない場合には近傍の特徴点を検知して残りを時間研磨してもよいし、多波長光源のメリットを利用してモニタ波長を変えれば特徴点を移動でき目標膜厚と一致させることも可能である。

その他、前述の例以外にもポリシリコンなど光が透過する膜に対して本技術は適用可能であることはいうまでもない。

5. おわりに

従来困難であった酸化膜CMPの終点検出に適用できる光学式終点検出モニタを紹介した。一口に酸化膜CMPといっても削るデバイスはユーザごと、用途ごとに膜種、積層膜厚、パターン構成などが異なり多種多様である。本光学式モニタでこの多様なニーズに対応していくために更にデータを積み上げて解析を重ね、汎用性、信頼性ある製品にしていきたいと考えている。

最後に、本成果は株式会社津製作所との共同開発の結果であることを申し添えらるとともに、ご協力いただいた方々へ感謝の意を表す。