

新しい固定砥粒パッドによるのセミドライ加工方法の研究

Study of a Semi-dry polishing method for oxide wafer CMP with Spiral type Fixed Ceria Abrasive Polishing Pad

代田 渉^{1*}、榊原 晋¹、富永 茂¹、土肥 俊郎²

Wataru Shiota¹ Susumu Sakakibara¹ Shigeru Tominaga¹ Toshiroh Karari Doy²

¹株式会社ロキテクノ

ROKITECHNO CO.,LTD

²埼玉大学教育学部

Faculty of Education, Saitama University

Abstract

Semi-dry polishing method for silicon oxide wafer CMP with Spiral type Fixed Ceria Abrasive polishing pad is proposed in this paper. High MRR of 400nm/min and high WIWNU of 8% are obtained by this method.

Semi-dry polishing method is one of the method of slurry free CMP and is the new method using small amount of pure water instead of slurry and chemical liquid. Key technique of this method is how to control the amount of pure water on the pad surface before polishing. Control technique is examined, and polishing mechanism is discussed.

1. はじめに

半導体デバイス用の層間絶縁膜やSTIに使用されているシリコン酸化膜を加工対象として、酸化セリウム（以下セリアという）粒子をパッドに固定した新しい平坦化CMP用ポリシングパッドを考案し、その加工特性と加工メカニズムについて前回報告した。[1]

前回の報告では、セリア固定砥粒層と合成樹脂層の2種類の薄い層を、加工面に対して垂直に交互に配列したポリシングパッド（以下スパイラル型固定砥粒パッドという）に関し、各層の使用材料を検討した。また加工液に、希釈した低濃度のセリアスラリーを適用してP-TEOS酸化膜の加工実験を行い、セリアスラリーに含まれるセリア砥粒の作用で、パッドに固定されたセリア砥粒が遊離化し、遊離砥粒として有効に作用することを確認し、通常の発泡ポリウレタンパッドと比較して加工に利用される砥粒の総合消費量が低減できることを示した。

固定砥粒パッドをCMPに適用する目的は、スラリーフリー加工方法（砥粒を含まない加工液を使用して加工する方法）を適用して、良好な加工レート

Email: w.shiota@rokitechno.co.jp

(MRR) とスクラッチフリーの高い面内均一性(WIWNU)を実現することである。特に、加工液に純水の適用が可能であれば、スラリー供給装置などスラリーを管理する装置が不要となるばかりか、スラリーに要する消耗費用の削減が可能である。しかし、現状では、純水を適用して加工を行う場合、良好な加工レートを得るためには高い加工圧力で加工する必要があるため、マイクロスクラッチの増加や面内均一性の悪化など、加工特性が低下する問題がある。

本報告では、スパイラル型セリア固定砥粒パッドを使用し、シリコン酸化膜のCMPに、パッドに吸水した水分を利用して加工する加工方法（以下セミドライ加工方法という）を適用した結果、良好な加工性能を得たので、加工結果の詳細を報告し、加工メカニズムを検討する。

2. スパイラル型セリア固定砥粒パッドの構造

Fig. 1に本研究で使用したスパイラル型セリア固定砥粒パッドの構造模式図を示す。このパッドは、セリア固定砥粒層(FA Layer)とポリマー層の2種類の薄い層で構成され、これらの層がスパイラル状に配置し、加工面に対して垂直に交互に配列した構

造を有している。セリア固定砥粒層は、平均粒径 $0.5\ \mu\text{m}$ 程度のセリア砥粒 (90wt%) にバインダー剤としてアクリル系の熱可塑性合成樹脂 (10wt%) を均一に混合して、厚さ 0.3mm の長尺シート状に成形されたものである。Fig. 2 にスパイラル構造を形成する製造方法の説明図を示す。セリア固定砥粒層の長尺シートに、ポリウレタン系の熱可塑性合成樹脂を加熱コートして、厚さ約 0.03mm のポリマー層を形成しながら軸芯に巻き、所定のパッド径まで太らせて円柱状とする。自然冷却後に軸芯に垂直な方向に所定の厚みでスライス加工し、スライス面の片方の面に圧力感応粘着テープを貼付してポリシングパッドを形成する。

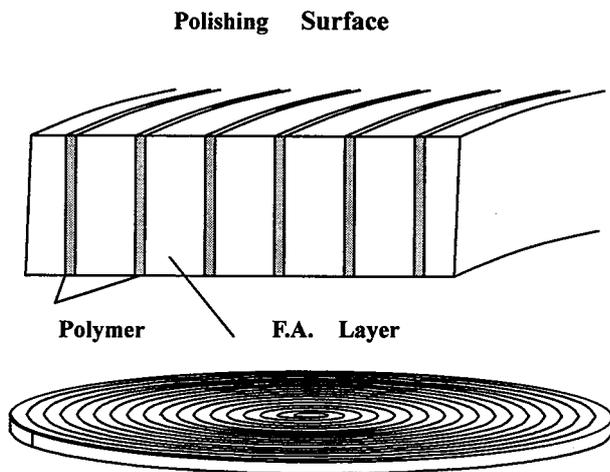


Fig1 スパイラル型セリア固定砥粒パッドの構造模式図

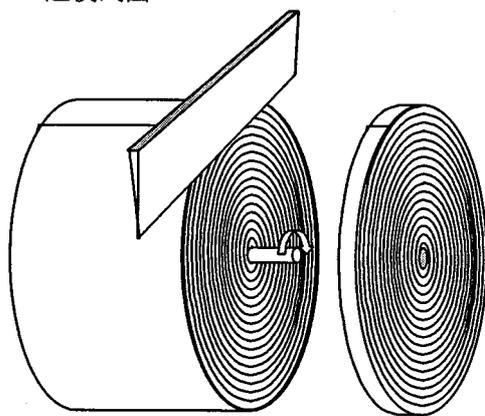


Fig2 スパイラル型固定砥粒パッドの製造方法の説明図

3. セミドライ加工方法

CMP用固定砥粒パッドには、研削砥石のように砥粒が固定された状態でウェーハに砥粒を作用させ

るタイプものと、固定された砥粒が摺動摩擦などで遊離化し、遊離砥粒としてウェーハに作用させるタイプのものに分類されるが、後者のタイプの固定砥粒パッドでは、砥粒を遊離化させるためには、十分な摺動摩擦力の発生条件が必要である。特に、純水を使用して加工する場合は、加工液にスラリーを使用する場合と異なり、遊離化砥粒の生成割合はパッドとウェーハ間の摩擦力に依存する。しかし、加工中に純水が供給されると、パッドとウェーハ間に水の薄膜が形成され、水の薄膜による潤滑作用で、十分な摺動摩擦力が得られない現象が生じる。[2]

反対に、セリア砥粒の加工では、水分が不足すると、シリコン酸化膜とセリア砥粒との固相で生じるメカノケミカル反応が進まず、十分な加工能率が期待できなくなる。

吸水性の固定砥粒パッドを使用し、水の薄膜が生成されない状態で加工を行えば、上記の問題を避けることが可能である。この状態は、ウェット加工法とドライ加工法の間状態であり、この状態を維持する加工方法をセミドライ加工方法と呼ぶことにする。本報告では、セミドライ加工方法として、下記の手順で加工を行った。

- 手順1 パッド面上に純水を滴下して、十分な湿潤状態とする。
- 手順2 プラテンの回転による遠心力を利用して水切りし、パッド表面の湿潤状態を調整する。
- 手順3 加工を実施する。ただし、加工中は純水を一切供給しない。

パッド表面の湿潤状態の調整方法には、プラテンの回転による遠心力を利用した水切りの他に、エアブローや吸水ローラ等の使用などが考えられるが、本報告では、最も簡便な方法として、水切りを採用した。

4. 実験方法・装置及び評価方法

4.1 セミドライ加工を適用した加工特性の測定

セミドライ加工方法を適用したCMP加工特性を評価する目的で、外径 24 インチのスパイラル型セリア固定砥粒パッド (RC01-#3 型) を使用し、加工試料に膜厚 1000nm の P-TEOS 酸化膜の 8 インチプランケットウェーハを使用して加工実験を行った。

加工方法として、加工液に純水を適用した加工法 (以下純水加工と言う)、加工液に $1\text{wt}\%$ のセリアスラリーを適用した加工法 (以下スラリー加工と言う)

及び加工液に純水を使用し、ドレッサを併用した in-situ ドレス加工の3種類の加工方法とセミドライ加工方法を適用したときの加工特性を比較測定した。

セミドライ加工方法は、2項で説明したように、加工前にパッドを純水で湿潤状態として、加工中には純水を一切供給せずに加工を行う方法であるが、加工前のパッドの湿潤状態によって、加工レートが大きく変化する。湿潤量が多すぎても少なすぎても、十分な加工レートが得られず、加工に最適な湿潤状態が存在する。本実験では、最適な湿潤状態として、パッドに十分に純水を供給した後、純水の供給を停止し、プラテンの回転数を 100rpm として、4分間回転してパッドの水切りを実施した。

Table 1 に適用した加工条件を示す。特に記述がないかぎり共通するものである。

Table1 適用した加工条件

CMP 装置	マニュアルローディング C M P 実験装置 MATARW-681MS(エム・エー・ティ社製)
加工試料	酸化膜ブランケットウェーハ (8 インチ)
パッド	スパイラル型セリア固定砥粒パッド (RC01-#3)
加工圧力	400g/cm ²
回転数	プラテン:40rpm ヘッド:36rpm
加工液供給量	200ml/min
加工時間	1 min

加工特性として、加工レート、面内均一性及びマイクロクラッチの発生個数を評価した。加工後の酸化膜ウェーハの残膜厚を、7200型膜厚計(ナノメトリックス社製)でウェーハの任意の中心線(以下X軸という)上の21点、及びX軸に直交する線(以下Y軸という)上の8点について測定し、X軸上の除去膜量の平均値(加工時間を1minとした)を加工レートとした。また、面内均一性は、X軸とY軸上の残膜厚の平均値を求め、平均値と各測定点の差の百分率を測定点29点について算出し、その標準偏差σであらわした。マイクロクラッチの発生個数の測定には、残膜を測定したウェーハを十分に洗浄し、SPI スクラッチカウンター(KLA-Tencor社製)を使用した。

4.2 セミドライ加工におけるパッド湿潤状態の測定

本実験は、セミドライ加工方法を適用した場合のパッドの湿潤状態を数値化する目的で、外径 12 インチのスパイラル型セリア固定砥粒パッド(RC01-#3型)を使用し、パッドの湿潤状態の調整条件とパッド表面の水分量の関係を求め、同時に加工レートとの関係を測定した。また、RC01-#3 型パッドに樹脂含浸処理を行い、RC01-#3 型パッドの固定砥粒層の微細気孔を閉塞させたパッド(RC01-#4 型)を試作し、同様にパッド表面の水分量と加工レートとの関係を比較測定した。

Table2 に適用した加工条件を示す。この加工条件は、特に記述がないかぎり共通するものである。

加工試料には、膜厚 1000nm の P-TEOS 酸化膜の 18mm x 18mm のウェーハチップを使用した。干渉式膜厚計(SENTECH 社製 FTP500)を用いて試料の膜厚さを測定し、加工前後の膜厚さの測定値をもとに、単位時間当たりの除去膜厚を加工レートとした。

Table2 適用した加工条件

CMP 装置	リング型小型ポリシング装置(定盤径φ300mm)(ナノファクター社製 NF300)
加工試料	酸化膜(P-TEOS)付きウェーハチップ(18x18mm)
パッド	外径 12 インチ RC01-#3 型パッド、外径 12 インチ RC01-#4 型パッド
加工圧力	400g/cm ²
回転数	プラテン:40rpm ヘッド:36rpm
加工液供給量	10ml/min
加工時間	1 min

パッド湿潤状態は、赤外線式水分計(IM-3SCV フジワーク社製)を使用してパッドの表面近傍の水分量で数値化した。ただし、赤外線式水分計の指示値は、測定試料の材質や厚みに対して水分量の相対値を示すものである。

含水率の測定では、厚さ 3mm、100mm x 100mm の固定砥粒パッドのカットサンプルを使用し、60℃に設定したオープン乾燥機(2-2000ISUZU 製作所製)で 10 時間乾燥させた後のサンプル重量を測定(乾燥重量という)し、純水に 10 時間浸漬した後、自然乾燥して重量を測定し、乾燥重量に対する重量増加率をパ

ッドの含水率とした。

5. 実験結果

5.1 セミドライ加工を適用した加工特性の測定

Fig3に、8インチブランケットウェーハにセミドライ加工方法を適用したときの、加工後の残膜厚の測定結果を示す。比較データとして、純水加工、in-situ ドレス加工及びスラリー加工の3種類の加工方法を適用したときの加工データも示した。Fig4には、残膜厚から算出した加工レートと面内均一性を示す。Fig4に示す4種類の加工方法には、同一の加工条件を適用したため単純な比較はできないが、セミドライ加工方法による加工特性が良好であることが分る。

スラリー加工法では、高い加工レートを示すが面内均一性が悪く、Fig3に示すように加工特性がセンターローであった。これは、供給したセリアスラリーの量がウェーハ面に対して偏った分布をし、特にウェーハ中央部に作用するスラリー量が少ないためと判断される。加工圧力を低くし、パッドとウェーハ間の相対速度を増加させるなどの加工条件の改善により、面内均一性の改善が図れるものと考えられる。

同様に、純水加工、in-situ ドレス加工方法では、加工圧力を増加させて加工レートを改善させることが可能であるが、セミドライ加工方法は、スラリーフリー加工方法として優れた加工方法と言える。

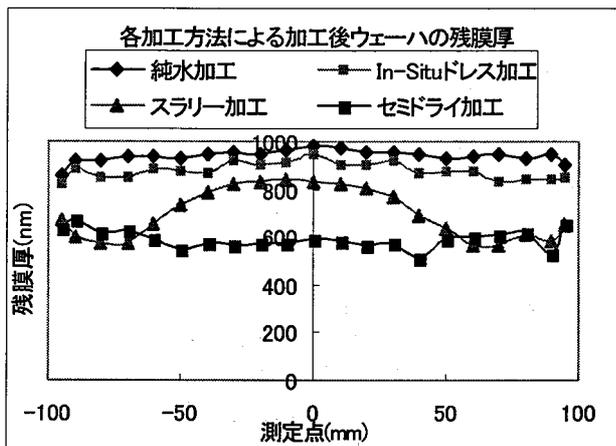


Fig3 ウェーハ加工後の残膜厚測定結果

Fig5に加工後のウェーハ面内に存在するマイクロクラッチ(0.2 μ m以上の微細打痕状キズ)の総数を示す。セミドライ加工方法を適用した加工では、

マイクロクラッチの発生数が少ないことが分る。

砥粒加工によって生じるマイクロクラッチは、マイクロクラッチの直径の数倍以上の径を有する粗粒子によるものと考えられる。特に1 μ m以上の粗粒子(微粒子の凝集体も含まれる)個数とマイク

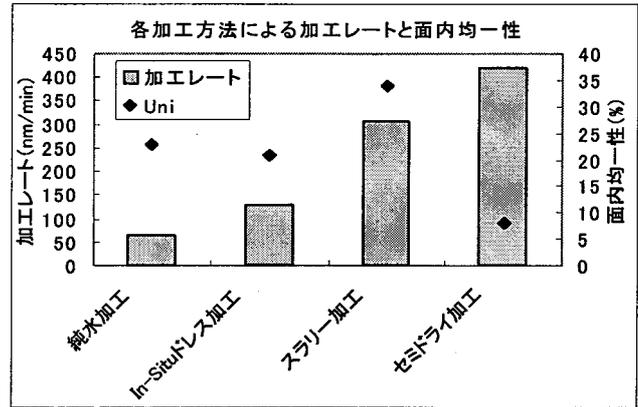


Fig4 加工レートと面内均一性 (WIWNU)

ロクラッチの発生数には強い相関関係がある。[3]また、加工条件が同一であれば、加工量が多いほど加工に作用した砥粒の量が多いと考えられるため、マイクロクラッチの発生数が多くなることが予想される。しかし、Fig5は、最も加工量の多いセミドライ加工方法と、加工量の最も少ない純水加工方法とが同程度であることを示している。これは、固定砥粒パッドの表面近傍に存在する粗粒子が同程度に加工に作用すると仮定しても、セミドライ加工方法には、マイクロクラッチの発生を緩和するメカニズムが働いていることを示唆するものである。

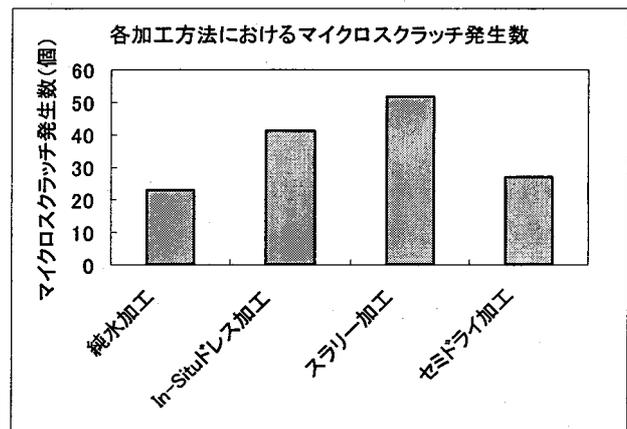


Fig5 発生マイクロクラッチ数

5.2 セミドライ加工におけるパッド湿潤状態の測定 (1)加工時間と加工レートの関係

本実験では、外形 12 インチの RC01-#3 型パッドを使用し、セミドライ加工方法におけるパッドの湿潤状態の調整方法として、加工時間を変化させる方法を採用し、18mm 角のウェーハチップを加工した。加工レートの測定と同時に、各加工時間毎に、加工終了直後のウェーハチップの加工表面に付着している水分量を目視観測した。Fig6 に加工時間に対する加工レートと目視観測した水分量の相対値を示す。水分相対値は 3 段階で示した。すなわち、2：明らかに水分の付着が確認できる。1：わずかに水分が付着している。0：水分の付着が確認できない。

加工レートは、加工時間が 27 分間以上から急激に増加しており、加工レートの増加とウェーハチップに付着した水分量がほとんど観測されなくなる加工時間とが一致していた。Fig6 は、高い加工レートが得られる条件として、パッドの湿潤状態に閾値が存在することを示唆している。また、30 分間以降の加工時間に対しては、加工レートが急激に低下しており、メカノケミカル反応に必要な水分の不足を示唆しているものと考えられる。

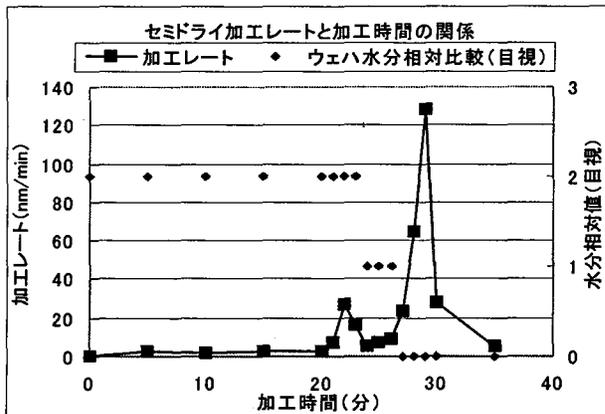


Fig6 に加工時間に対する加工レートと目視観測した水分量の相対値

加工中にウェーハヘッド用を使用している回転駆動モータの駆動電流の変化を、クランプテストを使用してモニタした。ウェーハとパッド間の摺動摩擦力の変化は、回転駆動モータの駆動電流の変化に反映されるものと推測したためであるが、駆動電流の変化が確認できなかった。これは、ウェーハヘッドの回転駆動モータに AC 誘導モータが使用されているため、微小の負荷変動に対して、駆動電流の変化が微少であったこと、また、AC 電流モニタ用の測定系 (AC-DC 変換器) が不備であったためと思われる。

(2) パッド湿潤状態の水分量の測定

本実験では、パッドの湿潤状態の調整方法として、プラテンの回転数を一定 (100rpm) としてパッドの水切り時間を変化させる方法を採用し、パッドの湿潤状態を、赤外線式水分計を使用して数値化した。RC01-#3 型パッドと RC01-#4 型パッドを使用して、湿潤状態を調整した後、加工直前のパッド表面の水分量を赤外線式水分計で測定し、加工レートとの関係を 2 種類のパッドについて比較測定した。

Fig7 に水切り時間を 2 分間隔で 10 分間実施したときの水切り時間と加工レート及び水分計の指示値の関係を示す。

水切りを施すと、RC01-#3 型パッドの水分計指示値は、最初の 2 分間で 3500 まで低下し、その後 2500 までは徐々に低下していく。一方 RC01-#4 型パッドの水分計指示値は、最初の 2 分間で 1000 まで低下し、その後はほとんど変化がない。RC01-#4 型パッドの加工レートは、水切り時間に対して変化がなく、低い値を示しているが、RC01-#3 型パッドの加工レートは、水切り時間に対して増加傾向を示し、水切り時間 8 分にピーク値があることを示している。Fig8 は、水分計の指示値と加工レートとの関係を、Fig7 を使用して再プロットしたものである。Fig8 より、水分計指示値が 2500~3000 の範囲で高い加工レートが得られることがわかる。

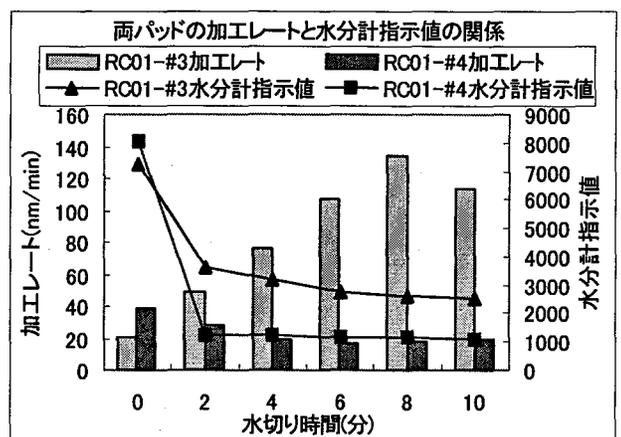


Fig7 水切り時間と加工レート及び水分計の指示値の関係

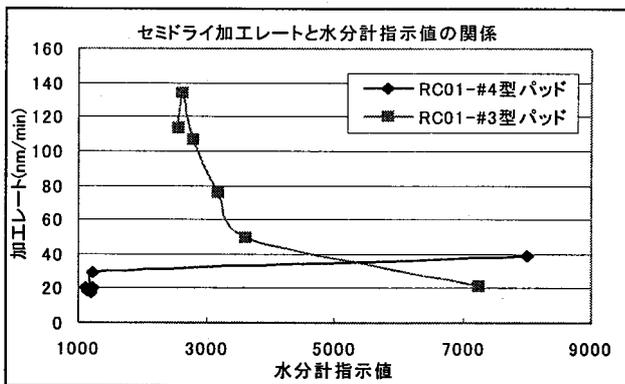


Fig8 水分計の指示値と加工レートとの関係

(3) パッドの含水率と水分計指示値の関係

本実験では、赤外線式水分計の指示値とパッドの湿潤状態の関係を調べるために、RC01-#3型パッドとRC01-#4型パッドのカットサンプルについて、パッドの含水率と水分計指示値の関係を測定した。Fig9に2種類のパッドについて、パッドの含水率と水分計指示値の関係を比較して示す。RC01-#3型パッドでは、水分計指示値2500で屈曲点を示す。この屈曲点はパッドの乾燥条件の境界を示すもので、屈曲点以下の領域では、含水率の変化が著しく低下したため、自然乾燥からオープン乾燥に変更した。同様に、RC01-#4型パッドでは水分計指示値1000以下で乾燥条件を変更した。

Fig9から、自然乾燥の領域では2種類のパッドともに、含水率の変化率が同じであるが分かる。この水分計の指示値の領域（RC01-#3型パッドでは2500以上、RC01-#4型パッドでは1000以上）では、含水率の減少が、パッド表面に存在する水分の薄膜の減少に相対しているものと判断される。

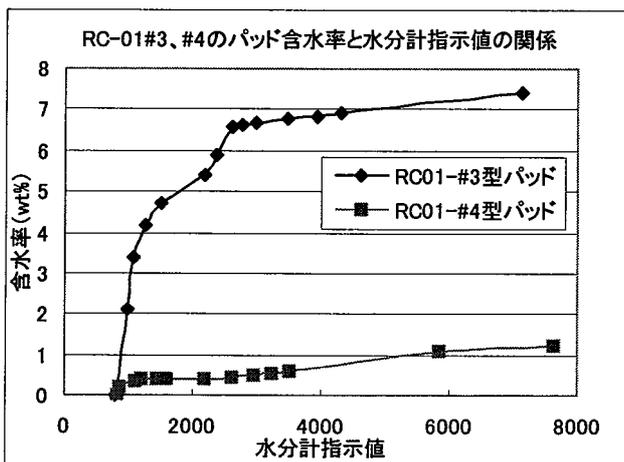


Fig9 2種類のパッドの含水率と水分計指示値の関係

Fig8を考慮すると、パッド表面に存在する水分の薄膜が消滅する寸前に高い加工レートを得る条件があるものと推測される。

反対に、Fig6とFig8は、水分量が少な過ぎると加工レートが低下することを示している。これは、酸化膜とセリア砥粒との固相で生じるメカノケミカル反応に必要な水分量の不足に起因するものと判断される。メカノケミカル反応の低下を回避し、高い加工レートを安定して得るためには、使用するパッドが十分な含水率（5%以上）を有する必要がある。

6. 加工メカニズムに関する考察

CMPの加工メカニズムを検討する一つの視点として、加工試料に作用する砥粒の状態を検討することが挙げられる。特に固定砥粒パッドの場合、砥粒がパッドに固定された状態で加工試料に作用するものと、パッドに固定された砥粒が、加工液に遊離分散状態で作用するものが知られているが、本報告では、砥粒が加工試料に作用する新たな作用状態として、高粘性流動状態を提案する。

高粘性流動状態の砥粒が形成される条件は、固定砥粒層が摩擦力で破壊されて砥粒の遊離化が起こること、及びパッド表面の水分量が少ないことである。セミドライ加工方法は、上記2つの条件を同時に満足するよう、加工前にパッドの湿潤状態を調整する方法である。

砥粒の高粘性流動状態を直接測定することはできなかったが、砥粒の遊離化に関しては、水の薄膜による潤滑効果の影響がなくなる水分量の領域で高い加工レートが得られること、またこの領域を過ぎると、パッドとウェーハ間に生じる摺動摩擦力が大きくなり、砥粒の遊離化に必要な摩擦力に達すると判断される。

以上の理由で、スパイラル型セリア固定砥粒パッドを使用して、ウェーハ酸化膜にセミドライ加工方法を適用することは、高粘性流動砥粒を自動的に加工試料に作用させる一つ手段であると言える。

5.1項の実験結果で得られた高い加工レートの理由は、高濃度砥粒（パッドの固定砥粒層が90wt%のセリア砥粒と10wt%のバインダー剤で構成）が高粘性流動状態に遊離化し、遊離化した砥粒が排出されずに加工に寄与するため、高い砥粒の利用効率が高かったことによるためと考えられる。

また、高い面内均一性が得られる理由は、高粘性流動状態の砥粒がパッド表面の微細な凹凸部の凹部

に充填され、高粘性流動砥粒が大きく移動しないため、ウェーハ酸化膜全面に均一に作用することによるものと考えられる。

粗粒に起因するマイクロクラッチの発生に関しては、高粘性流動状態の砥粒がパッド表面の微細な凹凸部の凹部に充填され、粗粒による極所圧力集中が緩和されることによる発生頻度が低下するという仮説が考えられる。

5. むすび

セリア砥粒を固定した新しい平坦化CMP用ポリシングパッドを使用し、セミドライ加工方法を適用して、ウェーハ酸化膜の加工実験をおこなった。下記に実験結果をまとめて示す。

- (a) 8インチウェーハのCMPに、RC01-#3型パッドを使用し、セミドライ加工方法を適用した結果、高加工レートと高い面内均一性が得られた。また、マイクロクラッチの発生数は、約60nmと少ない加工量である純水加工方法を適用したときの発生数と同程度であった。
- (b) ウェーハチップを使用して、パッドの湿潤状態と加工レートとの関係を調べた結果、パッドの湿潤状態として、赤外線式水分計の指示値が2500～3000の範囲で高い加工レートが得られた。
- (c) パッドのカットサンプルについて、パッドの含水率と水分計指示値の関係を測定し、加工レー

トとの関係を考察した結果、高い加工レートを示す水分計指示値の範囲は、パッド表面に薄膜として存在する水分量の限界値に近い領域であった。赤外線式水分計を利用することで、パッドの湿潤状態、すなわち、パッド表面の水分量を管理できることが分かった。

上記実験結果から、セミドライ加工方法における加工メカニズムとして、固定された砥粒が加工試料とパッド間で生じる摩擦力によって遊離化し、高粘性流動状態で加工試料に作用するメカニズムを検討した。

ウェット加工方法では、加工液が砥粒やケミカル成分の分散溶媒の機能を有する他に、加工熱の冷却剤の機能を有している。セミドライ加工方法では、少量の水分を利用するため、冷却が課題となる。今後、加工熱の影響を調べ、冷却方法などを検討する予定である。

参考文献

- [1] 富永、榊原、土肥 埼玉大学地域共同研究センター紀要第2号 p 90～95
- [2] 土肥：詳細半導体CMP技術、工業調査会(2001) p 180～185
- [3] 吉田、木下 第19回プラナリゼーションCMP委員会 研究資料(2001)