

新しいCMP用固定砥粒形ポリシングパッドの開発研究

Development of a New Fixed Abrasive-type Polishing Pad

富永 茂^{1*}、榊原 晋¹、土肥 俊郎²

Shigeru Tominaga¹ Susumu Sakakibara¹ 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

A new fixed abrasive-type Polishing Pad for CMP of semiconductor device oxide layer like as ILD and STI is examined. The new type polishing pad is composed two thin layers which are a Ceria fixed abrasive and polymer layer, arranged in a line alternatively, and kept in a vertical position to the pad surface.

The examined polishing pads are made from three kinds of polymer, Acrylic esters, Polyurethane, Polystyrene selected as a material for a binder of the fixed abrasive layer and the polymer layer. The pad combined Acrylic esters for binder of fixed abrasive layer and Polyurethane for polymer layer shows the highest material removal rate(M. R. R). Applying to diluted Ceria slurry for oxide layer CMP, the examined pad shows much higher M. M. R. than ordinary Foamed Polyurethane Pad. The new fixed abrasive-type polishing pad is possible to reduce amount of Ceria slurry to 1/3 ~ 1/5.

We discuss the polishing mechanism applying the new fixed abrasive-type polishing pad at the viewpoint of the relationship between M. M. R. and concentration of extricated Ceria abrasive upon a pad, then conclude that M. M. R. does not have an effect on fixed abrasive on pad, but on extricated abrasive from the pad.

1. はじめに

半導体集積回路の高集積化、微細化に伴って、配線の多層化が行われている。配線の多層化プロセスにおいて、酸化シリコン等の絶縁膜に段差が生じるため、配線材をパターン形成する前に絶縁膜を平坦化する必要がある、高い精度のウエハ面内均一性 (Uniformity) や段差特性 (Planarity) が要求されている。そのため、配線の多層化プロセスで平坦化処理を施す必要がある、平坦化の手段としてCMP (化学的機械研磨) が行われている。

CMPプロセスでは、発泡ポリウレタン製のポリシングパッドにスラリー (砥粒を含む研磨剤) を供給しながらポリシングを行うのが一般的であるが、

命化、消耗品コストとオペレーションコストの低減など多くの改善すべき課題が指摘されている。以上のような背景から、低コストで高精度・高品位・高能率を確保できる新しいポリシングパッドの開発が切望されている[1]。

このような状況の中で、近年、砥粒をポリシングパッドに固定した固定砥粒パッドの開発が活発に行われている。ガラスをはじめ半導体ウエハの出発材料である単結晶シリコンウエハのラッピング用工具としての固定砥粒パッドは、古くから改良がなされ、一部使用されている。しかし、半導体ウエハ用の固定砥粒パッドは、とくに超精密加工が要求されるため、現状では次のような工夫がなされている。

- (1) 高分子合成樹脂にサブミクロンの粒子径の砥粒が固定されるのが一般的である。
- (2) 加工液の保持機能を持たせ、保局部的に大きな加工圧力を発生させて高い加工能率を得

* 〒140-8576 東京都品川区南大井 6-20-12

電話 : 03-5764-1142 FAX : 03-5763-0820

Email : s.tominaga@rokitechno.co.jp

スラリーの使用量の低減、ポリシングパッドの長寿

るために、発泡構造や多孔性構造が採用されている。

(3) 加工液や加工クズの排出機能として表面に溝加工が施されている。

しかし、現状の固定砥粒パッドには多くの課題がある。例えば、加工液として純水を用いた時の加工能率の向上やマイクロクラッチの発生防止などを図る必要がある。また、同一パッドで多数枚の半導体ウエハを同一の面精度でかつ、高加工能率で研磨するためには、発泡構造や多孔性構造をパッド表面のみでなく、厚み方向も含めて安定に制御する必要がある。現状では、この制御がなされていないところに問題がある。また、パッド表面に形成された溝は、パッドがすり減って溝の底部に達した時点でパッドが寿命となるため、幅が狭く深い高トレンチ加工も検討する必要がある。

本研究では、加工時に半導体ウエハとポリシングパッドの摺動によって、パッドに固定された砥粒が遊離化し、その遊離化砥粒を研磨に利用するポリシングパッドを提案する。加工能率を高めるために、このポリシングパッド中の砥粒が遊離化し易い構造にする必要がある。ただし、極端に遊離化し易い構造にするとパッドの消耗を早めパッド寿命が短くなるため、一定の耐磨耗性を確保しながら砥粒を適量遊離化して、加工能率を一定水準にし得る条件を見出すことがポイントとなる。また遊離化した砥粒は、凝集や粒塊の状態ではなく微粒子の状態で分散していることも考慮する必要がある。

ここでは、上記の考え方に基づき、セリア固定砥粒層と合成樹脂層の材質が異なる2種類の薄い層を、研磨面に対して垂直に交互に配列した新しいポリシングパッドを試作した。この試作パッドを用いて酸化膜のCMP特性を把握するとともに、酸化膜の加工能率と固定砥粒層、合成樹脂層の材料の相関関係から加工メカニズムについて検討したので、以下報告する。

2. 開発したポリシングパッドの構造と特徴

Fig. 1 は本研究で試作したポリシングパッドのSEM写真の一例である。Fig. 2 は試作パッドの構造を示す模式図である。上面が半導体ウエハなどに接触する研磨面であり、固定砥粒層と合成樹脂層が交互にかつ研磨面に垂直に配列されている。

固定砥粒層を、酸化セリウム砥粒 (90 wt%) とバインダー材としての熱可塑性合成樹脂 (10 wt

t%) を均一に混合して長尺シート状に成形した。固定砥粒層の幅は0.3mm程度、合成樹脂層の幅は0.03mm程度である。固定砥粒層と合成樹脂層を交互に配列するためには、成形した固定砥粒層の長尺シートを準備し、そのシートに熱可塑性合成樹脂をコートしながら巻き太らせて円柱状とする。そして、所定の厚みで巻き軸に垂直な方向にスライス加工し、ポリシングパッドとする。合成樹脂層は、固定砥粒層シート間の接着剤の機能を有し、スライス加工して形成されたポリシングパッドの機械的強度を補強している[2]。

以上の製作プロセスで試作したポリシングパッドの特徴をあげれば、

- (1) 固定砥粒層の砥粒の混合割合を著しく高くして砥粒を遊離化し易い状態としていること。
- (2) 合成樹脂層と固定砥粒層とを交互に配列しているので一定の耐磨耗性を有していること。
- (3) パッド表面の構造を固定砥粒シートの成形厚みと合成樹脂層のコート厚みを制御することで均質にできること。
- (4) パッドの厚み方向は、固定砥粒シートを均一に成形することによって均質化が確保できるので、研磨によってパッドが消耗しても同質の面が一定に保たれること。

などである。

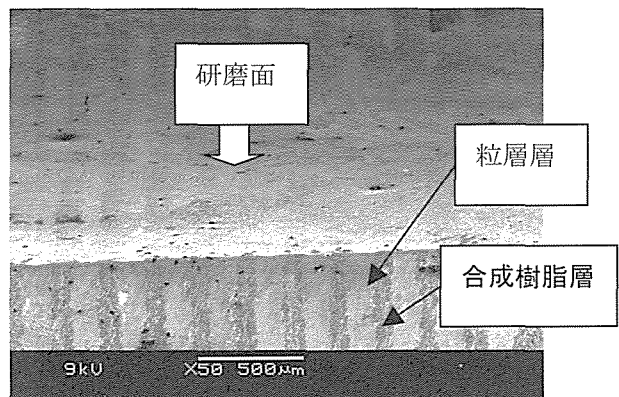


Fig. 1 試作した新しい固定砥粒形ポリシングパッドのSEM写真

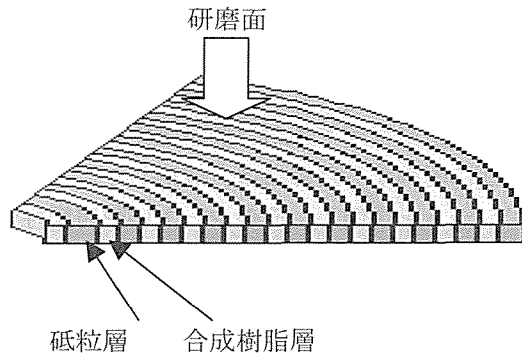


Fig. 2 固定砥粒ポリシングパッドの模式構造図

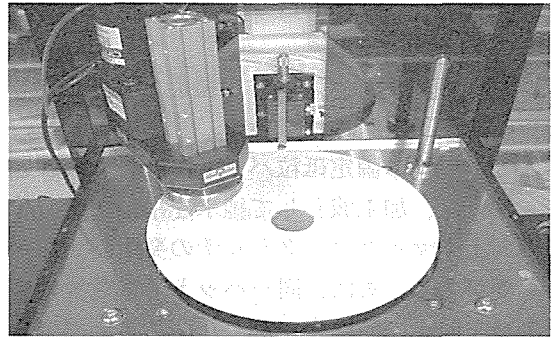


Fig. 3 ポリシング装置の外観写真

3. 実験条件と方法・装置

Table 1 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。Fig. 3 に本実験で適用したポリシング装置の外観写真を示す。加工試料には、Si 基板に厚さ $1\mu\text{m}$ に堆積した P-TEOS 酸化膜を使用した。試料の膜厚さは、干渉式膜厚計 (SENTECH 社製 FTP500) を用いて測定した。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。

加工において、パッドから排出された砥粒を定量化するため、加工後のパッド上の加工廃液をスラリー吸引器によって採取して、水分を除いた乾燥後の重量から加工廃液中の砥粒濃度を求めた。

Table 1 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 $\phi 300\text{mm}$) (ナノファクター社製 NF300)
加工試料	酸化膜 (P-TEOS) 付き基板 ($18 \times 18\text{mm}$)
パッド	バインダー材検討用: A, B, C 合成樹脂層検討用: AA, AB, AC 比較パッド: ウレタンパッド
加工圧力	$400\text{g}/\text{cm}^2$
回転数	プラテン: 40rpm ヘッド: 36rpm
加工液供給量	$10\text{ml}/\text{min}$
加工時間	1min

試作パッドについては、固定砥粒層バインダーの材料、及び合成樹脂層の材料の影響を実験するためにパッド A, B, C 及び AA, AB, AC タイプを試作した。

パッド A, B, C タイプは、ともに厚さ 0.3mm 、幅 300mm のシート状のもので、厚さ 1mm

のスポンジ状のポリエチレンシートに貼付した後、 $\phi 300\text{mm}$ の円形に打ち抜き、小型ポリシング装置の定盤に貼付して使用した。

パッド AA, AB, AC タイプは、固定砥粒層のバインダーの材料にアクリル系樹脂を使用し、合成樹脂層に 3 種類の材料を適用して、Fig. 2 に示す構造の固定砥粒パッドを試作した。

Table 2 に試作パッドの仕様を示す。

Table 2 実験に使用したパッドの仕様

パッドタイプ	セリア砥粒組成	バインダー材	合成樹脂層材
A	90wt%	アクリル系	無し
B	90wt%	ウレタン系	無し
C	90wt%	ポリスチレン系	無し
AA	90wt%	アクリル系	アクリル系
AB	90wt%	アクリル系	ウレタン系
AC	90wt%	アクリル系	ポリスチレン系

本報告では、つぎの 3 項目を中心に実験を行った。

- (1) 固定砥粒シートを構成するバインダーの材料に着目して、固定砥粒層のみで加工したときの加工能率とバインダー材料の関係を明らかにするため、加工後に採取した加工廃液の SEM 写真で観測する。
- (2) 固定砥粒シートを同一にして、合成樹脂層の材質を変えた 3 種類のポリシングパッドの加工能率を比較検討する。
- (3) ポリシング条件 (加工液の種類、in-situ ドレッシングなど) と加工能率の関係を評価、検討する。

4. 実験結果及び考察

4. 1 固定砥粒層バインダー材料の影響

Fig. 4に、加工液に純水を使用し、加工圧力を 50 g/cm^2 としたときの、試作パッドの加工レートの比較を示す。加工圧力を 50 g/cm^2 としたのは、3種類のパッドとも耐摩耗性が低く、これ以上の加工圧力で加工するとパッドが摩り減って、1分間の加工に耐えられなくなるためである。

50 g/cm^2 という低い加工圧力で加工レート 90 nm/min が得られ、加工液が純水のみであっても高い加工能率であることが注目される。

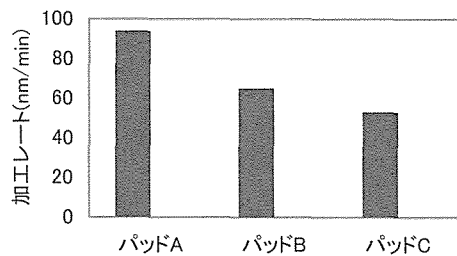


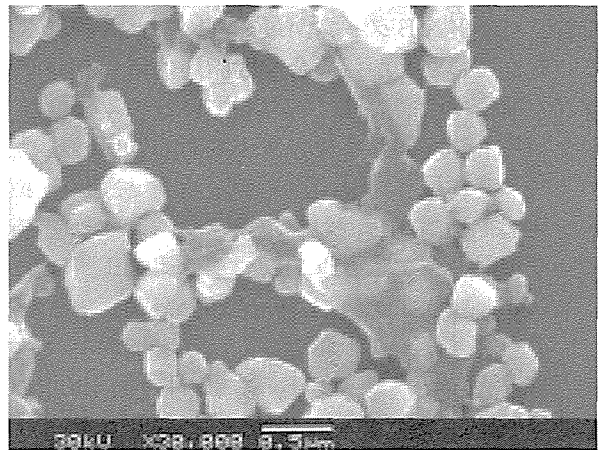
Fig. 4 各種パッドにおけるバインダー材料による加工レート比較

Fig. 5は、それぞれパッドA, B, Cの加工廃液中の遊離砥粒をSEM観察したものである。(a)は砥粒単体で遊離しているのに対して、他の(b), (c)は砥粒がバインダー材に包み込まれている様子が分かる。

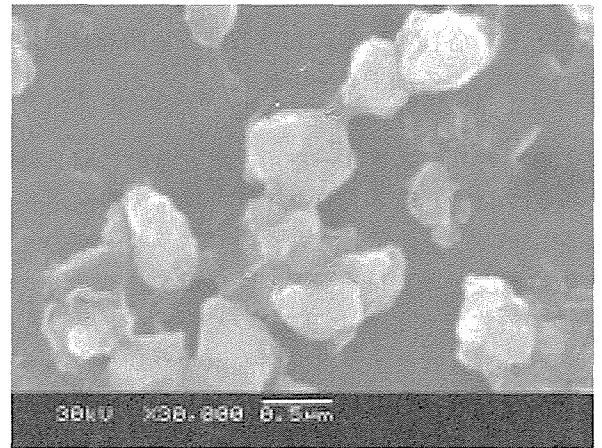
バインダー材の材料による加工レートの差は、遊離した酸化セリウムの微粒子の状態に起因するものと考えられる。すなわち、酸化セリウムの微粒子がバインダー材の外皮を介して酸化膜と接触するか、直接接触するかの違いによるものと思われる。パッドAのバインダー材を用いた固定砥粒層が他のパッドに使用したバインダー材に比べてかなり高い加工レートを示すのは、砥粒が単体で遊離する割合が多いためと判断される。これは、砥粒である酸化セリウムと酸化膜の化学的作用を示唆するものである。

4. 2 合成樹脂層の材料の影響

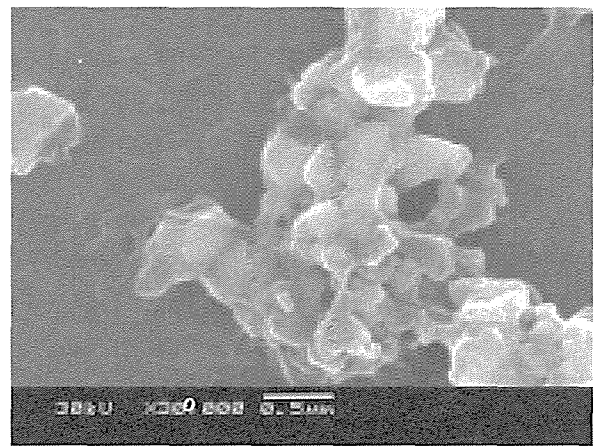
Fig. 6に、加工液に希釈セリアスラリー（砥粒濃度を 0.5 wt\% ）を用いたときの加工レートを示す。パッドAB, AA, ACタイプの順で加工レートが高い。加工液に純水及びさらに高濃度のセリア



(a) パッドAの研磨廃液



(b) パッドBの研磨廃液



(c) パッドCの研磨廃液

Fig. 5 各種パッドにおける研磨廃液中の砥粒のSEM写真

スラリーを用いたときの加工レートを比較した結果でも、パッドABタイプが最も高いことが確認されている。このことから、合成樹脂層はポリシングパッドの補強や耐磨耗性に寄与しているのみではなく、加工レート促進にも寄与しているものと思われる。

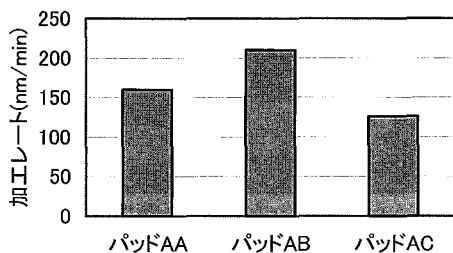


Fig. 6 各種パッドにおける合成樹脂層材料による加工レート比較

4. 3 セリアスラリーを用いたときのCMP特性

Fig. 7に、パッドABタイプと通常の発泡ポリウレタンパッドを使用したときの、スラリー中のセリア砥粒濃度と加工レートの関係を示す。

加工液に希釈したセリアスラリーを使用した場合、パッドABタイプは、発泡ポリウレタンパッドよりかなり高い加工レートを示し、同じ程度の加工レートを得る場合は、使用するセリアスラリー量が1/3～1/5程度に削減できる[3]。

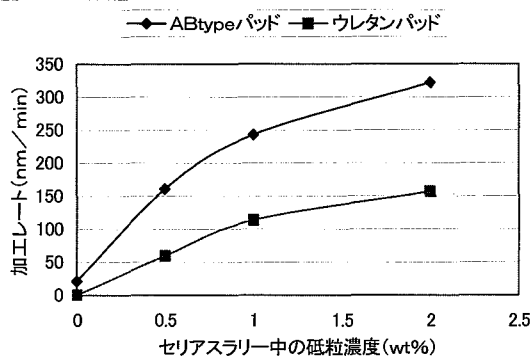


Fig. 7 パッドABタイプ及びウレタンパッドにおける加工レートのセリア砥粒濃度依存性

Fig. 8に、パッドABタイプを使用したときの各加工時間に対する加工レート及びCMP終了後にパッド上に残った加工廃液中のセリア砥粒濃度の変化を示す。加工液には、純水、0.5wt%、1wt%、

2wt%のセリアスラリーを適用した。加工レート及び加工廃液中のセリア砥粒濃度は、加工液の種類にかかわらず、加工時間に対してほぼ一定であった。

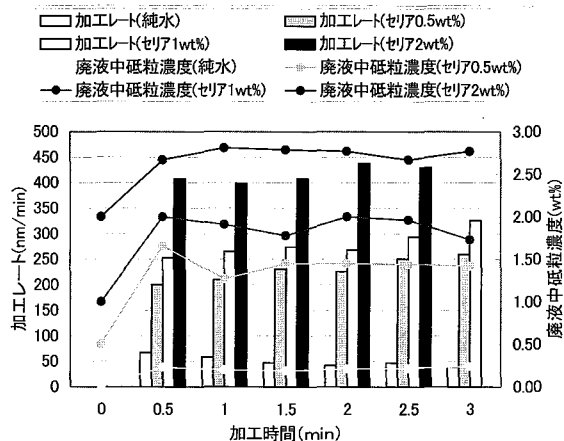


Fig. 8 各加工時間に対する加工レート及び加工廃液中のセリア砥粒濃度の変化

Table 3に、スラリー中のセリア砥粒濃度とCMP終了後にパッド上に残った加工廃液中のセリア砥粒濃度を各加工時間で算術平均した値を示す。増加分は加工中に増加した砥粒によるもの、すなわちパッドの固定砥粒層から遊離したものである。ここで言う加工廃液中のセリア砥粒濃度は、加工直後にパッド表面から廃液を吸引器で採取して測定したもので、実質的な加工中のセリア砥粒濃度に相当するものである。加工液に純水を適用した場合、セリア砥粒濃度は0.26wt%であったが、セリアスラリー中の砥粒濃度を増加させると、増加分が純水の場合と比較して、3～4倍に増加していた。これは、加工液中の砥粒によって、酸化膜が加工されるほかに、ポリシングパッドも同時に加工されるためと考えられる。また、加工廃液中のセリア砥粒濃度が加工時間に対して一定であるということは、固定砥粒層から遊離する砥粒の遊離化率（単位時間あたりの遊離する砥粒量）が一定であることを示す。すなわち、ポリシングパッドの構成材である固定砥粒層と合成樹脂層がほぼ同一の割合で磨耗することを示唆するものである。

Table 3 セリアスラリーとCMP終了後の廃液中のセリア砥粒濃度 単位: wt%

	0 (水)	0.5	1.0	2.0
セリアスラリー	0	0.5	1.0	2.0
廃液	0.26	1.45	1.90	2.75
増加分	0.26	0.95	0.90	0.75

Fig. 9に、パッドABタイプと通常の発泡ポリウ

レタンパッドを使用したときのCMP加工中における総遊離砥粒濃度と加工レートとの関係を示す。廃液中のセリア砥粒濃度は、スラリーと固定砥粒層からの遊離砥粒との和による総遊離砥粒によるもので、Fig. 9は総遊離砥粒濃度と加工レートが比例関係にあることを示すものである。ただし、スラリーのセリア濃度が増加すると、固定砥粒層からの遊離砥粒量が減少する傾向にあり (table 3)、加工レートは遊離砥粒量の増加に対して飽和するものと考えられる。しかし、セリア砥粒濃度が少なくとも3 wt%までの範囲では、加工レートが比例関係にあり、加工液のセリア砥粒と固定砥粒層から遊離したセリア砥粒が同程度に加工に寄与していると言える。

すなわち、本ポリシングパッドの研磨メカニズムとして、パッドに固定された砥粒が固定された状態で研磨に作用するのではなく、パッドから遊離化した、いわゆる遊離砥粒として作用するものと考えられる。

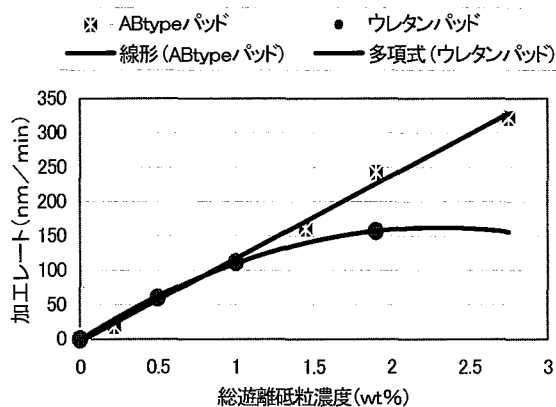


Fig. 9 CMP加工中の総遊離砥粒濃度と加工レートの関係

Fig. 9の発泡ポリウレタンパッドを使用したときの加工レートは、スラリーのセリア砥粒濃度と加工中の総遊離砥粒濃度が等しいという前提で、Fig. 7のグラフをプロットし直したものである。砥粒濃度の増加に対する加工レートの増加の割合が、砥粒濃度の低い値 (1 wt%) から低下している。これは、砥粒濃度が増加するに従い、加工液のセリア砥粒が加工に十分に寄与しなくなるためと考えられる。ポリウレタンパッドと比較してパッドABタイプはセリア砥粒の加工に対する利用効率がよく、現在のCMPプロセスで消費されるセリア砥粒の総量を低減

できるものと考えられる。

5. むすび

半導体デバイス用の層間絶縁膜やSTIに使用されている酸化膜を加工対象として、セリア粒子を固定砥粒化した新しい平坦化CMP用ポリシングパッドを考案した。本報告では、とくにバインダーと合成樹脂層に用いる材料に着目して、各種ポリシングパッドを試作するとともに、加工促進メカニズムについて検討した。以下要約する。

- (1) 加工液にセリアスラリーを適用したとき、通常の発泡ポリウレタンパッドと比較して2倍以上の高い加工能率が得られる。
- (2) 加工メカニズムの検討によれば、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。
- (3) 考案したパッドABタイプでは、加工レートが総遊離砥粒濃度の増加に比例して増加するため、砥粒が効率よく加工に利用され砥粒の消費が低減できる。

本報告において、加工液に純水を使用し、in-situ. ドレッシングを行った加工特性も一部検討したが、使用するドレッサーの目の粗さやドレス条件で加工能率が異なり、十分な結論は得られなかった。これは、in-situ. ドレッシングによって遊離化する砥粒が粒塊状となり、加工能率の低下の原因となるものと判断される。今後、ドレッサーとドレス条件の検討を行うとともに、同一パッド内での研磨特性の安定性や加工メカニズムについて検討していく予定である。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、ご協力頂きました埼玉大学教育学部土肥研究室の代田渉氏に感謝致します。

参考文献

- [1] 土肥：詳細半導体CMP技術、工業調査会 (2001)
- [2] 特許公報、公開2002-36129、研磨パッド、(株)ロキテクノ
- [3] 代田、土肥ら：代田ら：新しいポリシングパッドに関する基礎的CMP特性に関する研究、精密工学会東北支部学術講演会 (2001)