

平坦化CMPにおけるパッドドレッシングに関する研究(第2報)

Study on Fundamental Pad Conditioning Mechanism for Chemical Mechanical Polishing (2nd report)

藤田 隆^{*1}, 土肥俊郎², 上川大地^{3,2}

Takashi Fujita^{*1}, Toshiro Doy², Daichi Kamikawa³

¹株式会社 東京精密

Tokyo Seimitsu Co.Ltd

²埼玉大学 教育学部

Faculty of Education, Saitama University

³芝浦工業大学

Shibaura Institute of Technology

Abstract

The novel conditioner was developed for uniform conditioning across a pad. The conditioner is composed by bendable fibers. Therefore, each abrasive conforms independently to the pad surface, differently from the traditional conditioner of plate type. The removal rate using the developed conditioner is equal to that using the traditional conditioner. However, the cut rate of pad using the developed one is tenth part of the cut rate using traditional one. Therefore, it was demonstrated that the developed conditioner realized more efficient conditioning. In addition, in order to evaluate the conditioning non-uniformity effectively, novel uniformity evaluation method was developed. The principle uses color variation by abrading the pad dyed on the surface. As the result, the conditioning non-uniformity was 8.3% with the developed conditioner, compared with 23.8% with the traditional conditioner.

Key word: CMP, conditioning, bendable fibers, efficient conditioning, conditioning non-uniformity, color variation

1. 研究の背景と目的

CMP (Chemical Mechanical Polishing)技術は、今や半導体製造工程の一部として、確固たる地位を築き、今ではなくてはならない必須の技術になっている。現段階における半導体技術の状況は、90nm 世代の量産プロセスから、65nm、45nm、32nm と微細化が進むとされているが、それに連動して、CMP 技術には一層の高精度化が要求されるとともに量産技術としての安定性能も要求される。

*〒192-0032 東京都八王子市石川町 2968-6
電話:0426-42-0381,FAX:0426-42-0467
E-mail : fujitata@accretech.jp

一方、CMP 技術の内側から進捗状況を概観すると、プロセス開発の点で様々な新しい要素技術が開発され目覚ましい進展を遂げているかというところとは言い難い部分がある。ここ最近では、具体的な新しいハードウェア構成により抜本的な改善が図られたというより、むしろ、前後工程間での最適化や、レシピの最適化、個々の材料の品質管理などでばらつきを最小限にしている場合が多い。特に、研磨装置、ヘッド構成、パッド、スラリーなどの消耗部材、ドレッサーの構成など、研磨基本構成部材が、機能的にほとんど変化していない事実からも、一連の関連技術が少し飽和気味で停滞している状況を窺うことができる。しかし、CMP

技術は、今後の半導体製造技術における微細化の流れに沿って、依然として、そのプロセス要求に応じるための更なる進歩を求められる。そのためには、実際の研磨現象およびドレッシングなどの諸現象などを再度よく観察し、そこから本質的な課題を見出し、その課題を実際のハードウェアにフィードバックするプロセス設計が望まれる。

このような現状の CMP 開発に求められる背景を基に、本研究では、まず、従来から定量化が難しいパッド表面状態に着目し、それを定量的に評価することに着手した。その中で、特にパッド表面状態に関する支配的な要素を見出すため、パッドを削ること無しにレートを回復させる方法を検討した¹。結果的に、目詰まり時に起こるパッド表面改質などから²、研磨レートを回復させるには、パッド表面を削り取る再生過程がドレッシングに不可欠であることを見出した。

そのようなことから、本研究では、パッドドレッシングではパッド表面を多少なりとも削り取ることを前提に、効率的かつ均一にドレッシングする方法を検討した。効率的なドレッシング実現に向けた単位除去量最小化の機構及びパッド表面に追従した均一なドレッシング機構を熟慮した末、可撓性部材を利用した新しいパッドドレッシング方法を発案するに至った。

本報では、理想的なドレッサーに求められる均一かつ効率的なドレッシングを行うにあたり、考案したドレッサーが機構的に妥当であるかを実験的に検証する。また、開発した可撓性ドレッサーによるドレッシング均一性を効果的に評価するにあたり、染色パッドの表面色差を利用した独自のドレッシング均一性評価技術も、新たに開発したので報告する。

2.現在のドレッシング機構の問題点

従来のドレッサーにおける問題点を述べた上で、新しく開発したドレッサーの特徴を示す。現在、パッド表面における均一なドレッシングを行うために、プレート表面にダイヤモンド砥粒が電着されたプレート型ドレッサーが多く使用されている³。このプレート型ドレッサーをフレキシブルジョイントに取り付けてドレッシングする方法が現在最も汎用的である⁴。しかし、このような構

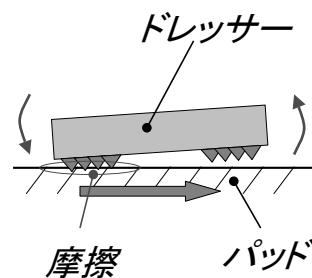
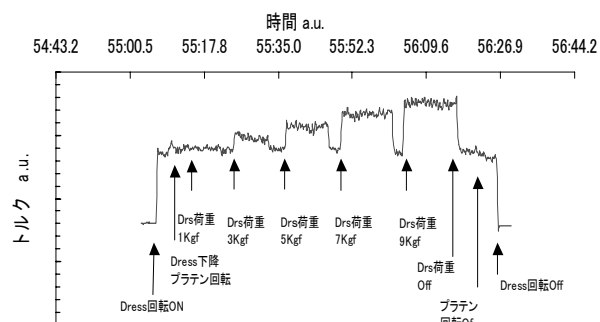
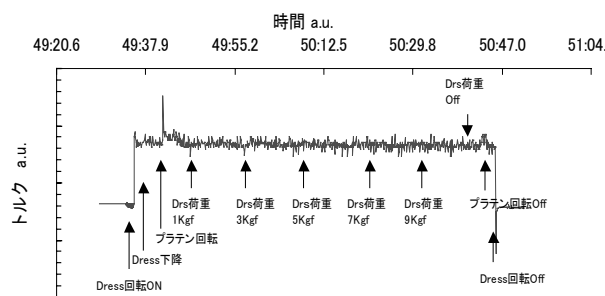


Fig. 1.従来のパッドドレッシング状態の模式図



(a)プラテン回転数：5rpm



(b)プラテン回転数：80rpm

Fig.2.プラテン回転数の違いによるドレッサー回転のモータートルク電流変化の差

成では、ドレッシングは原理的に必ずしも均一に行われぬ。それは、Fig.1に示すように、ドレッシング時に発生する摩擦力のために、ドレッサーは傾くからである⁵。ドレッサーがある時点で傾くとパッドとの摩擦力が軽減されるため、一旦元の状態に戻るが、以後同様に摩擦力で傾き、これが繰り返されることになる。結果的には、ドレッサーがパッドに対して断続的に接触するスティックスリップ現象がドレッサー全面で起こることになる。Fig. 2に、パッドのドレッシング時における

ドレッサー回転のモータートルク電流変化を示す。プラテンを低速回転(5rpm)させた場合では、ドレッサーに与える荷重を大きくするほど、ドレッサーを回転させるために必要なモータートルク電流は大きくなり問題はない。しかし、プラテンを高速回転(80rpm)させた場合では、ドレッサーに与える荷重を大きくしていても、ドレッサーを回転させるためのモーター電流はほとんど一定となり、ドレッサーに与える荷重がない場合に等しい。これは、プラテンが高速に回転すると、ドレッサー全体が、ドレッシングの摩擦力によってパッド上を飛び跳ねてしまい、ドレッサーがパッドに対して安定して接触していないことを示唆するものである。次に、別の事例として、Fig.3にパッド表面を染色した状態から、プラテンを高速回転させてドレッシングした後のパッド表面状態を示す⁶。染色した表面は均一に除去されておらず、ところどころに色のばらつきが見られる。これは、パッド全体が均一にドレッシングされているのではなく、ドレッサーの断続的な接触によって、まばらにドレッシングされていることを顕著に示している。

3.新しい可撓性ドレッサーとその原理

従来のプレート型ドレッサーでは、先に示したように系全体で起こるドレッサーの断続的な接触により、パッド表面が均一にドレッシングされない。そこで、このような従来の問題を解決することを目的に、新しいドレッサーを開発した⁷。Fig.4に、新しく開発した可撓性ドレッサーの概念図を示し、Fig.5にその概観写真を示す。可撓性ドレッサーでは、次の二つに示す効果が期待できる。

- ①個々の砥粒が独立して作用するため、個々の砥粒が断続的に接触したとしても全体として絶えず平均的なドレッシングができる。
- ②それぞれの砥粒が可撓性部材に固定されているため、表面の起伏によらず、安定したドレッシング圧力を実現できる。

特に後者のドレッシング圧力について、撓みによる水平方向の変位を δ としたとき、ドレッシングの圧力は、次式で表される。

$$P = \frac{Ebt^3\delta}{6(\delta^2 + L^2)(\mu L + \delta)} \quad (1)$$

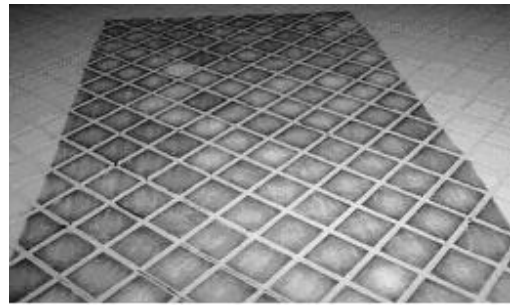


Fig.3.プレート型ドレッサーの断続接触による染色パッドのドレッシングばらつきの一例

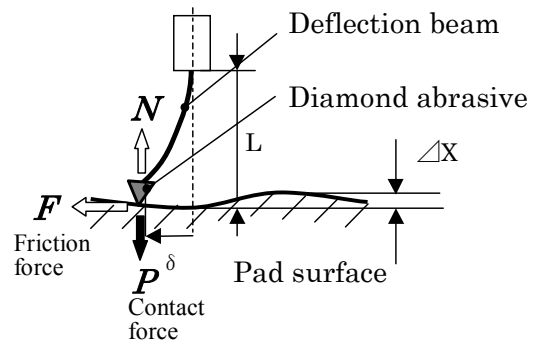


Fig. 4.可撓性ドレッサーの概略図

E:ヤング率, L:部材長さ, t:部材厚み, b:部材幅, μ :摩擦係数



Fig. 5.可撓性ドレッサーの概観写真

例えば、Table.1 に示すような E,L,t,b を設定するこ

Table1. $\pm 50\mu\text{m}$ のうねりを持つパッドのドレッシング圧力誤差

E(Gpa)	L(mm)	t(mm)	b(mm)	P(gf)
101	30	0.4	0.3	20 ± 0.076
189	30	0.3	0.3	25 ± 0.078

とで、パッドのうねりが $50\mu\text{m}$ であっても、ドレ

ッシングの圧力ばらつきを 1kPa 以下とすることが可能である。また、このような構成では、ドレッサー系全体が傾くことによる断続的なドレッシングを回避することができることが期待され、パッドが高速回転しても、パッド全面に均一なドレッシングができることが期待される。

4. ドレッシング性能の検証

4-1. 表面基準ドレッシングの検証

開発した可撓性ドレッサーでは、パッド表面の起伏に追従して、均一にドレッシングすることができる。そこで、故意に高低差をつけたパッドを使用して、ドレッシングの追従性を評価した。Table.2 に、標準的な実験条件を示し、Table.3 に評価したドレッサーの仕様を示す。

Fig.6 に、50 μ m のスペーサを部分的に下に敷き、その上に貼り付けたパッド表面のドレッシング後の状態を、従来のプレート型ドレッサーと、開発した可撓性ドレッサーで比較して示す。従来のプレート型ドレッサーでは、スペーサが下にある高くなった部分が選択的にドレッシングされる。それに対し、可撓性ドレッサーでは、50 μ m の凹凸が表面にあっても、ドレッシング後のパッド表面の色は、ほとんど均一とみなしうる。これより、パッド表面の高低差に追従して均一にドレッシングされていることがわかる。このように、可撓性ドレッサーでは、部材の撓み原理を利用して、多少の高低差に関わらず、絶えず一定のドレッシング圧力の下で、ドレッシングが行われていることを実験的に検証した。

4-2. ドレッシングの効率性に関する検討

可撓性ドレッサーでは、パッドの高低差によらず、ドレッサーがパッド表面に追従して均一なドレッシングが可能であることを示した。次に、可撓性ドレッサーの特徴を示すべく、従来のプレート型ドレッサーと比して評価を行った。

Fig.7 に、各種ドレッシング方法を適用したときの加工レートの比較結果を示す。ドレス無しでは 150nm/min であるのに対し、可撓性ドレッサーを用いたドレッシング後の研磨レートは、420nm/min と、従来のプレート型ドレッサーを用いたドレッシング後の 460nm/min と比較して、

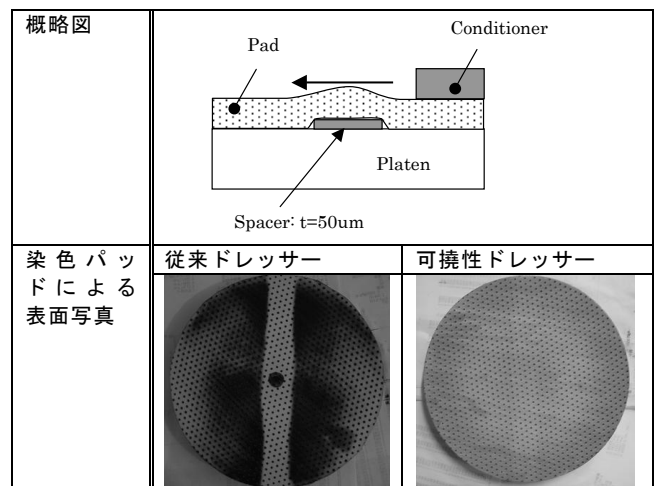


Fig. 6 ドレッシング概略図とパッド表面写真

Table. 2. 実験条件

試料	15 \square mm 酸化膜(P-TEOS 膜)
加工装置	小型修正リング式ポリシング装置
パッド直径	ϕ 200mm
パッド	IC1000/suba400(X-Y) NittaHaas 製)
スラリー	Fumed silica slurry (Cabot SS - 25)
定盤回転数	100rpm
加工圧力	500g/cm ²
加工時間	1min

Table. 3. ドレッサー仕様

プレート型 ドレッサー	ダイヤモンド砥粒 番号: #100 直径: 100mm Disk
可撓性 ドレッサー	本数: 3800 本, 太さ: ϕ 0.3mm 長さ: 20mm ヤング率: 100Gpa (真鍮) 先端に砥粒なし。

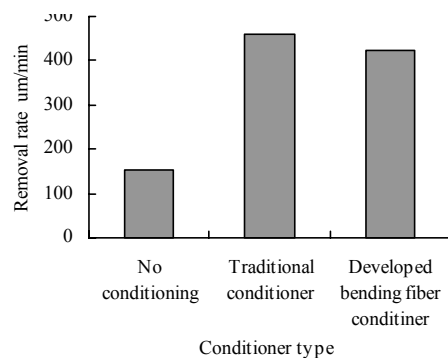


Fig. 7. ドレッシングの方法と酸化膜の加工レート

ほぼ同等の加工レートである。このことから可撓性ドレッサーでもプレート型ドレッサーと同様にパッド表面を粗面化するとともに、パッド表面を再生して加工レートを十分維持することが可能であるといえる。

Fig8には、ドレッシングを施したパッド表面のSEM観察結果を示す。ドレッシング無しのパッドでは、表面にパッドの切りくずが残留しており、ポアも覆い隠されていることがわかる。それに対して、可撓性ドレッサーを用いたパッド表面は、従来のプレート型ドレッサーを用いたパッド表面と同様に表面が再生されている。これらの結果から、可撓性ドレッサーは従来のプレート型ドレッサーと比して、同様の加工特性が得られるドレッシング能力を有していることといえる。

Fig9には、それぞれのドレッサーによりドレッシングした際のカットレートの比較を示す。従来のプレート型ドレッサーと比較して、可撓性ドレッサーのカットレートは約10分の1程度と低い。可撓性ドレッサーでは、従来のプレート型ドレッサーと比較してパッド消耗量は格段に低いにも関わらず、従来のドレッサーと同等の研磨レートを得ることが可能である。このことから、開発したドレッサーは、非常に効率的にドレッシングできるドレッサーであることがわかる。

次に、開発したドレッサーによる効率的なパッドドレッシング状態を確認するため、パッドの切りくずの観察を行った。

Fig.10に、各ドレッシング後のパッド切りくずのSEM観察結果を示す。従来のプレート型ドレッサーでは全体的に切り屑は大きいのが、開発した可撓性ドレッサーでは、平均的に数 μm レベルの細かい切り屑であることがわかる。一度に削り取られる単位体積が非常に細かいことから、結果として、パッド表面は細かく荒らされていると推察できる。以上のパッド切り屑の評価からも、開発した可撓性ドレッサーは、非常に微小にパッド表面を除去しながら、研磨に有効な微小荒さを形成する効率的なドレッシング方法であることを確認した。

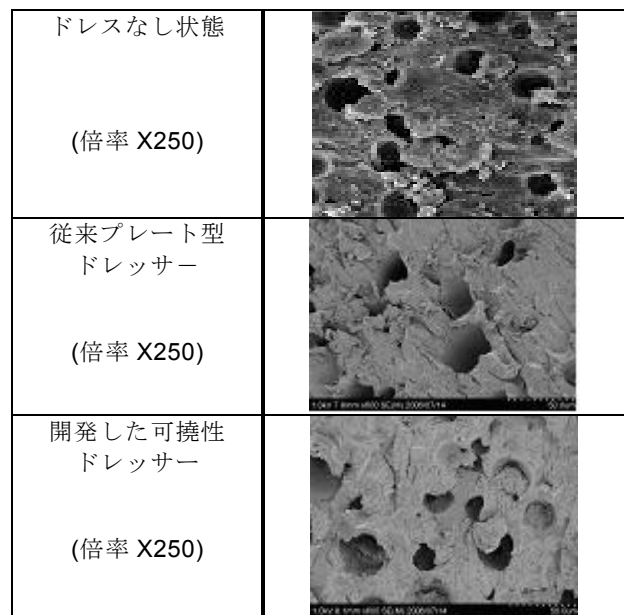


Fig.8.パッド表面 SEM 写真

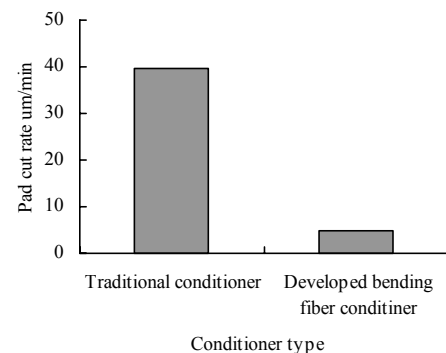


Fig.9.ドレッシング方法とカットレート

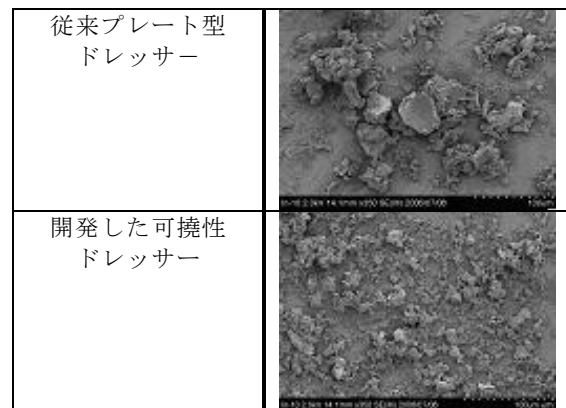


Fig.10.パッド切りくず SEM 写真

5. 染色パッドによるドレッシング均一性の評価

前項において、開発したドレッサーは、原理的にパッド表面に追従して均一にドレッシングが可能であることを示し、また、微小なパッド除去量で効率的にパッドドレッシングが可能であることも示した。しかし、パッド全面に対するドレッシングの均一性の違いを評価する上で、現在、簡便かつ定量的にドレッシング均一性を評価する方法はない。そこで、パッドドレッシング均一性の定量的評価を目的として、新しく染色したパッドを使用して、表面のドレッシング量のばらつきを色差により数値化する独自の均一性評価方法を考案した⁸。このドレッシング均一性評価方により、従来のプレート型ドレッサーと開発した可撓性ドレッサーの比較評価を行い、開発ドレッサーの均一ドレッシング性能を実験検証した。

5-1. 色差によるドレッシング均一性評価方法とその原理

色差によるパッド表面の均一性評価方法は、パッド表面を全面染色して行う。その染色されたパッド表層をドレッシングで除去して、除去された染色状態の色差分布を定量化することでドレッシング分布を評価する。パッドは油性染料でパッド全面を一様に染色した。色の数値化は着色されたパッド表面の画像から RGB 値を測定して Lab 値に変換する。その後、Fig.11 に示すような色の 3 次元空間座標において、基準とする初期色との直線距離 ΔE を算出する。色変化の範囲を 0 から 100 として規格化した。

5-2. 色差による表面均一性評価法の検討

Fig.12 に、染色パッドにおけるドレッシング量の時間依存性結果を示す。一定速度でドレッシングが進行していることが示されており、表面の染色がパッドドレッシング速度に影響しなことがわかる。また、パッド表面・内部とも均質な状態である。次に、染色したパッドの初期状態において、内部への染色材料の浸透状態を観察した。Fig.13 に、想定される染色状態の深さ方向分布を示す。

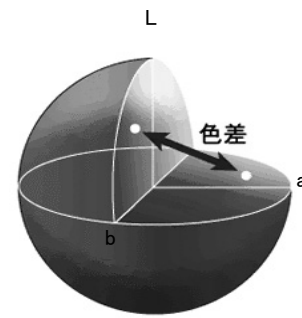


Fig. 11. 色差の原理

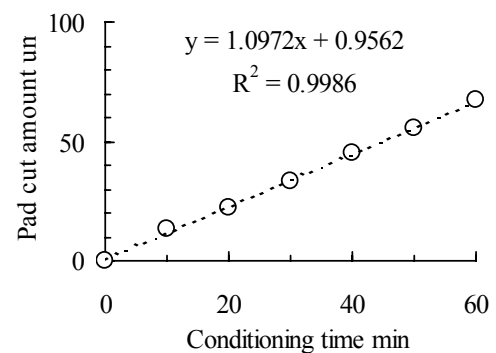


Fig. 12. パッドドレッシング量の時間依存性

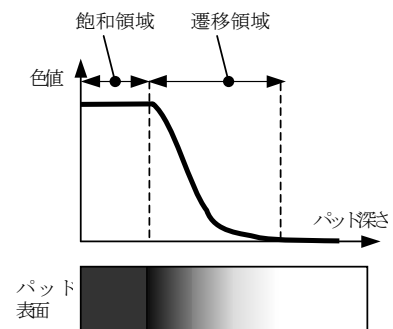


Fig. 13. 予想される染色状態

染色パッドの表層付近は、ほぼ所定の色で飽和状態にあり、内部では、染色材料の濃度勾配に比例して指数関数的に減少すると考えられる。Fig14 に、実際の染色したパッドの断面写真を示し、Fig15 に、パッド断面観察による深さ方向の色差変化を示す。

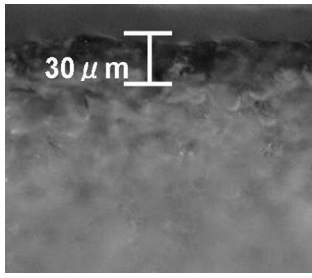


Fig. 14.染色パッドの断面写真

初期パッドの断面観察による測定では、深さ 30 μm までほぼ一定に変化し、そこから 60 μm まで急峻に変化し、その後染色材料がなくなって一定になる。実際にドレッシングに行った場合の除去深さと色差の変化の関係を重ねて示す。ドレッサーはプレート型ドレッサーを使用した。定量的には初期パッドの染色分布の変化と誤差はあるものの、定性的な変化挙動については同様であることを確認した。以上から、実際の研削量と色差変化の関係を次式で近似する。

$$Y = -0.0095X^2 + 1.6234X + 2.5596 \quad (1)$$

[Y: 平均研削量 μm, X: 色差]

この変換式を基に、ドレッシングの色差分布を研削量分布に変換することとした。

5-3. 可撓性ドレッサーにおける表面均一性の検討

以上の予備実験を元に、開発した可撓性ドレッサーと従来のドレッサーにおけるパッドドレッシングの均一性を評価した。Fig16 に、従来のプレート型ドレッサーと開発した可撓性ドレッサーにおいて、ドレッシング後のパッド表面写真を示す。参考として、初期の染色したパッド表面も示す。従来ドレッサーでは、パッドの高低差に応じてドレッシングの分布があることが確認できるが、可撓性ドレッサーでは、パッドの高低差によらず視覚的に均一にドレッシングされている。この視覚的なドレッシング状態から定量的なドレッシング均一性を求める。Fig.17 に、先に述べた色差測定した測定ポイントマップを示す。測定箇所は 200mm 径のパッド全領域 37 点で行った。

Fig.18 に、測定した色差分布から求めたパッドドレッシング量分布の 3D マップを示す。上式により、画像処理して得た色差分布をドレッシング量に変換して示した。色差により測定した 3D マ

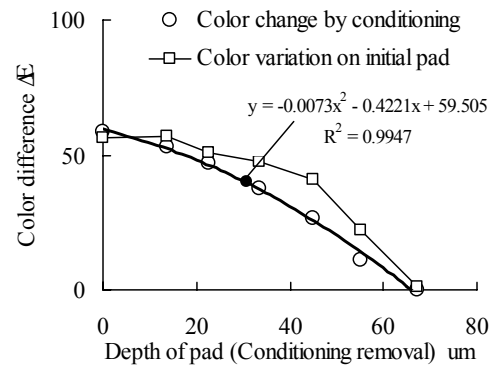


Fig. 15.パッド深さ方向の色差分布

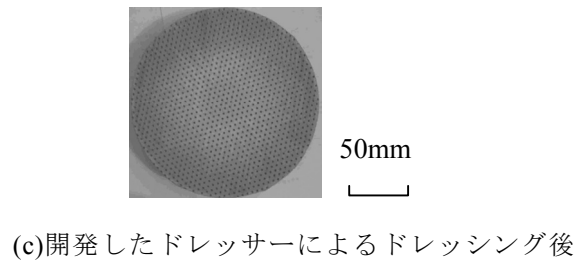
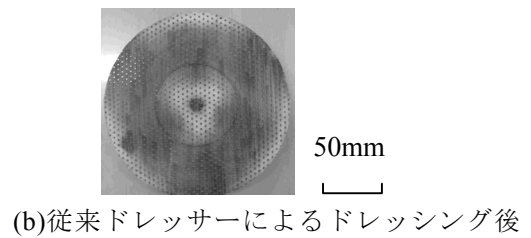
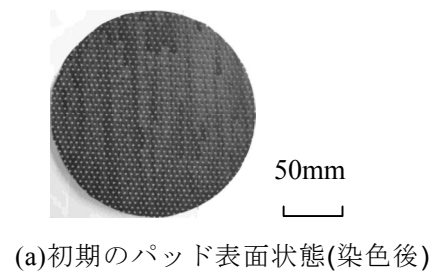


Fig. 16. ドレッシング後のパッド表面写真

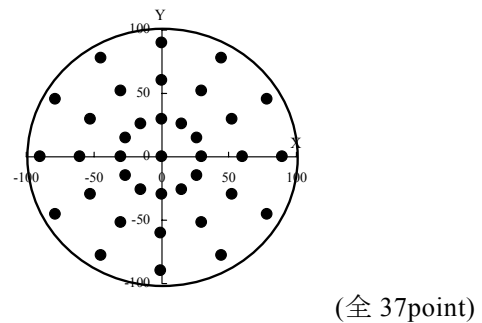


Fig. 17.色差測定箇所

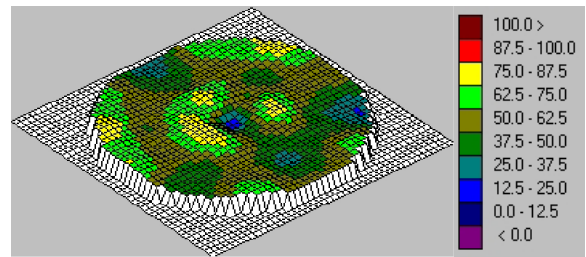
ップは視覚的にみた Fig.16 と対応しており、パッド上のドレッシング均一性を忠実に表していることがわかる。また、ドレッシング均一性は、ドレッシング量の標準偏差を平均ドレッシング量で除して求めた。色差より算出したドレッシング量分布に関して、可撓性ドレッサーではドレッシング均一性が 8.3%と、従来のプレート型ドレッサーの 23.8%と比較して、均一にドレッシングされていることがわかる。

以上より、新しく考案したパッド表面の色差分布を利用したドレッシングの均一性評価方法により、開発した可撓性ドレッサーは、パッドの起伏によらず均一にドレッシングできることを定量的に実証した。今後は、高速で回転するパッドにおいて、従来のプレート型ドレッサーで発生する断続的な接触によるドレッシング分布を定量的に明らかにし、開発した可撓性ドレッサーの技術的優位性を検証していく。

8. まとめ

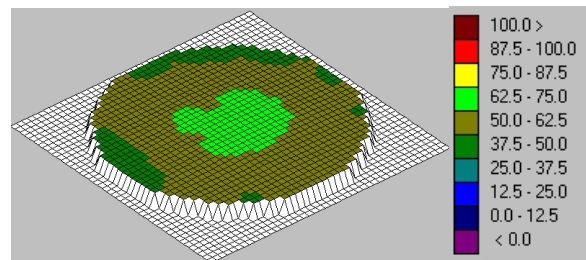
本研究で得た結果を以下に述べる。

- (1) 従来プレート型ドレッサーでは、ドレッシング時の摩擦力によりパッドに断続的に接触し、不均一なドレッシングが行われる問題に対し、新しく可撓性部材を使用したドレッサーを開発した。可撓性ドレッサーは、50 μ m の高低差があるパッド表面にも十分追従して均一にドレッシングすることを確認した。
- (2) ドレッシング後のパッド表面と切り屑を SEM で観察した。開発した可撓性ドレッサーでは、パッド表面は従来ドレッサーと同様新しい面が再生されており、切り屑は数 μ レベルと非常に細かいことを確認した。研磨レートは従来ドレッサーと同等であるが、カットレートは約一桁低い結果となり、効率的にドレッシングされていることを確認した。
- (3) 均一ドレッシング性能を定量的に評価する目的で、新しく染色パッドを使用した色差によるドレッシング均一性評価方法を開発した。その結果、開発したドレッサーによるドレッシング均一性は 8.3%となり、従来ドレッサーの 23.8%と比較して、均一にドレッシングさ



ドレッシング均一性：23.8%

(a) 従来のドレッサーによるドレッシング後



ドレッシング均一性：23.8%

(b) 可撓性ドレッサーによるドレッシング後

Fig. 18. 色差分布から算出したドレッシング分布

れていることを定量的に明らかにした。

【謝辞】

本研究を進めるに当たり、実験に協力していただきました埼玉大学土肥研究室の関係者の方々に感謝致します。

(参考文献)

- ¹ 藤田 隆, 土肥俊郎, 上川大地: 埼玉大学地域共同研究センター紀要, 第 5 号(2004)p.19
- ² 藤田 隆, 石倉美奈子, 河井奈緒子, 森岡善隆: パッド表面分析による研磨メカニズムの検討(第 4 報), 2005 年度精密工学会春季大会学術講演会論文集(2005),p.845
- ³ A. Philipossian, Z. Li, H. Lee, L. Borucki, R. Kimura, N. Rikita, K. Nagasawa, Proceedings of CMP-MIC Conf. (2005), p.43
- ⁴ J.C.Sung, N.Gitis, V. Khosla, Proceedings of CMP-MIC Conf. (2006). p.412
- ⁵ T.P.Merchant, J.P.Zabasajja, L.J.Borucki, A.S.Lawing, Proceedings of CMP-MIC Conf. (2005), p.143
- ⁶ 藤田 隆: 第 47 回プラナリゼーション CMP 委員会研究会資料(2005), p.37
- ⁷ 上川大地, 藤田 隆, 土肥俊郎, 小川 誠: 2005 年度精密工学会秋季大会学術講演会論文集(2005), p.269
- ⁸ 上川大地, 藤田 隆, 土肥俊郎: 2006 年精密工学会春季大会学術講演会論文集(2006), p.845