

CMP 特性に及ぼすパッド溝断面の傾斜角の影響

Effects of Slanted Cross-Sectional Shapes of Pad Grooves on CMP Characteristics

堀口文江^{1)*}, 土肥俊郎¹⁾, 堀本卓^{1),2)}, 鈴木辰俊³⁾, 瀬山貴司¹⁾, 船越考雄¹⁾

Fumie Horiguchi¹⁾, Toshiro Doi¹⁾, Suguru Horimoto^{1),2)}, Tatsutoshi Suzuki³⁾,
Takahshi Seyama¹⁾, Takao Funakoshi¹⁾

1) 埼玉大学教育学部 2) (株)D-Process 3) 東邦エンジニアリング株式会社

1) Saitama University 2) D-Process Inc. 3) Toho Engineering Co., Ltd.

[Abstract]

In CMP (Chemical Mechanical Polishing) characteristics, the shapes of grooves formed on pad surface affect greatly on removal rate, non-uniformity within wafer surface and slurry flow rate. They allow the slurry flow toward the center or outside of the pad when the pad is rotating. In this study, how 7 different slanted grooves on the pad surface affect the removal rate and slurry flow rate were examined. As a result, different and unique characteristics were observed. These slanted groove pads may make it possible to improve polishing performances such as removal rate and reducing the amount of slurry to be used.

Key words: CMP(Chemical Mechanical polishing), slanted grooves, pads, slurry, removal rate, uniformity

1. 研究の背景と目的

ULSI デバイスは、超微細化を牽引するドライバとなっている。周期 4 年/世代の DRAM に対して、ロジックデバイスは周期年/世代と短く、超微細化と高速化・低消費電力化などを目指して技術革新が進められている。動作スピードをあげるために配線の多層化とともに、Cu を配線メタルとし、微細化に伴う配線間容量を下げるために絶縁膜材料に誘電率 k 値の小さい Low- k /スーパー-Low- k 材料を導入することが必要となり、新しい材料の開発にも拍車をかけている。さらに、生産性の向上とチップの低コスト化をねらいウエハの大口径化 ($\phi 300\text{mm}$) を念頭に、新たな設備投資が進められているところである。¹⁾

このような背景の中で超 LSI デバイスには平滑・平坦化 CMP が今や LSI プロセスの重要なテクノロジーとなっている。その CMP プロセスにおいては、半導体デバイスの配線材料が柔らかく、断線しやすい Cu

(銅) 配線が主流になり、半導体デバイスの多層化に伴う脆弱な剥離強度の低誘電率層間絶縁膜の使用が必須となっている。

そこで、本研究では、今後の配線工程で主流となる Cu/Low- k 材料におけるパッドの溝形状に着目する。パッドは、如何にスラリーを安定的に効果的に使うか、あるいは如何にスラリーの特性を発揮させるかがキーとなり、パッドの材質、ミクロ的構造、そして表面に形成する溝のパターンと断面構造が重要になる。そのなかで、特に表面に形成する溝は、スラリーの保持機能、ウエハ面下への安定供給、およびスラリーの効果的使用、つまりスラリー消費量低減化に関係するので、非常に重要な項目である。平坦化 CMP プロセスでは、パッドおよびスラリーが非常に重要な役割を果たし両者は車の両輪の関係にあると言える²⁾。

本研究では、スラリーを効果的に使用するとともに、高能率・高精度化が確保できるパッドの適用条件を見出すことを目標に、パッドの表面に形成する溝の断面構造に着目して検討を行なった。パッド表面に施した溝の断面角度がスラリーの保持機能に影響を及ぼす

338-8570 さいたま市桜区下大久保 255

埼玉大学教育学部

電話 & Fax : 048-858-3235

e-mail : fhorie@saitama-u.ac.jp

ものと考え、各種の傾斜溝構造パッドを試作した。そして、それを酸化膜のCMPに適用して加工レートならびに加工面形状にどのような影響を与えるか、加工特性を把握したので以下に報告する。

2. 本研究の考え方

現在、CMP用パッドには、IC1000（ロデール・ニッタ社製）の発泡ポリウレタンを一般的に用いる。その主な理由は、スラリーの保持と反応生成物や切り屑の排出などの機能を持たせるため、材料中に微細な、多くの空孔を設けることである。通常、これらの各作用をより効果的に発揮させるために、パッドの表面に様々な溝を形成している。パッド表面に形成する溝のパターン（例えば、同心円状、格子状、スパイラル状）は、流体力学的に考えてスラリーの挙動に影響を与えることがわかっている³⁾。しかし、これまでの溝は、断面構造に着目して形成されておらず、図1のように単純、かつ経験的に垂直に形成した断面構造であった。

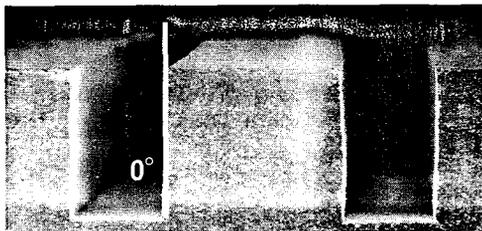


図1 従来のパッド表面に形成した垂直溝のSEM写真

本研究では、パッドの溝の断面角度を変えることによりスラリーの挙動が変化し、加工特性に何らかの影響を及ぼすものと考えた。ここでは、パッド表面に形成する溝に、様々な傾斜角度を施したパッドを試作して、酸化膜を加工対象としてCMPを試みそれらの加工特性を把握する。この傾斜角の溝の考え方は、溝の傾斜角によってパッドとウエハの間に介在するスラリーの流れ方が変わってくることで、すなわちマイナス傾斜の溝ではスラリーが外に出るのを抑制し、逆にプラス傾斜の溝では遠心力でスラリーが溝の外に放出されやすいことが考えられる。別の言い方をすると、マイナス傾斜溝では正圧が、プラス傾斜の溝では負圧が、それぞれ発生しやすいものと考えられるので、当然CMP特性の相違が出てくるものと考えられる。

3. パッド表面への傾斜角溝の形成と実験条件

試作したパッドは、パッドの中心に向かって傾斜角

度を形成した（負の傾斜角を付与した）もの（ -10° -20° -30° ）、および傾斜角度をパッドの外側に向かって形成した（正の傾斜角を付与した）もの（ $+10^\circ$ $+20^\circ$ $+30^\circ$ ）を準備する。（図2参照）

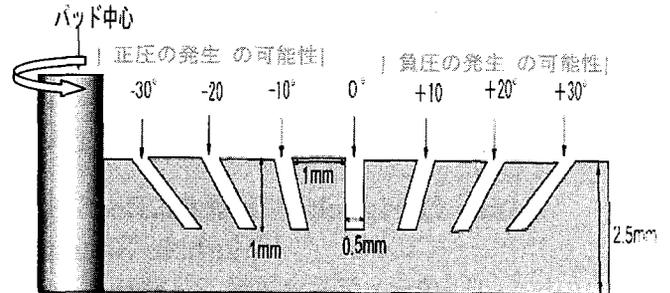


図2 各パッドに形成した7種類の溝の模式図

マイナス側あるいはプラス側に傾斜溝を形成することによって、スラリーの保持効果、排出効果などが異なるものと考え、溝のないフラットパッドに同一傾斜角度を形成する。ここでは、溝の高さ、幅、ピッチ等を同一にして、溝の傾斜角の効果のみを明らかにすることとし、溝の高さは1mm、幅は0.5mm、溝と溝の間隔1mmの溝を同心円状に形成することとした。

図3ならびに図4に、パッドに任意のパターンで傾斜角溝を形成することができる専用の加工装置「超精密パッド溝加工装置」（東邦エンジニアリング製CMP100S）の外観と加工部の写真を示す。

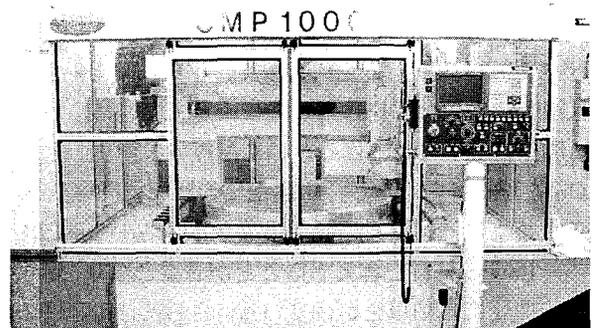


図3 超精密パッド溝加工装置の外観写真
(東邦エンジニアリング社)

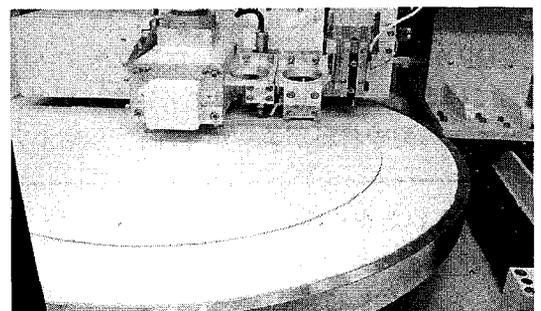


図4 超精密パッド溝加工装置・加工部の写真
(東邦エンジニアリング社)

図5は、+30°の傾斜角度つき溝を形成した断面構造の写真の一例である。加工実験では、従来の垂直溝を形成したパッド（傾斜角0°）（図1）と比較しつつ加工特性を把握した。傾斜角度を変えたのは、スラリーの流体挙動が変化し、ウエハに対し作用する動圧（正圧～負圧）がどのように、加工特性に影響を及ぼすかを検証するためである。

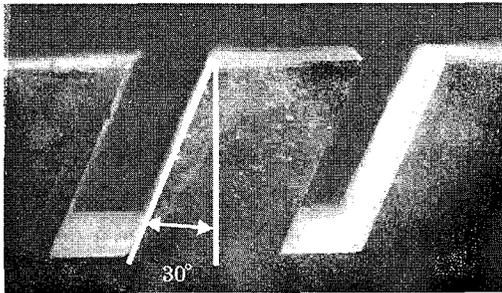


図5 パッド表面に形成した傾斜溝角度つき溝構造のSEM写真の一例（+30°）

各種溝（図2）を形成するためのパッドには、微小な水溶性粒子（空孔に相当）を多数含有するJSR社製溝なしのフラットパッドを準備した。スラリーには酸化膜用シリカスラリーを用いた。

適用した加工条件を表1にまとめて示す

表1 適用した加工条件

試料(φ3")	熱酸化膜 (Siに厚さ1 μm 堆積)
加工装置	小型リング式ポリシング装置 (LM-15)
パッド [形成溝の傾斜角度]	JSR社製 (φ340mm) [-30° -20° -10° 0° +10° +20° +30]
スラリー	酸化膜用シリカスラリー (JSR CMS1101)
スラリー供給速度	30, 60, 120 (ml/min)
加工圧力	30, 120, 160 (g/cm ²)
定盤(パッド)回転数	40, 80 (rpm)

4. 実験結果および考察

本実験では、大きく分けて3実験を行った。

最初実験1では、傾斜溝7種類のパッドによる研磨実験である。研磨レートを比較するため、スラリー

供給量、パッド回転数、研磨圧力を全て共通にして実験を行った。

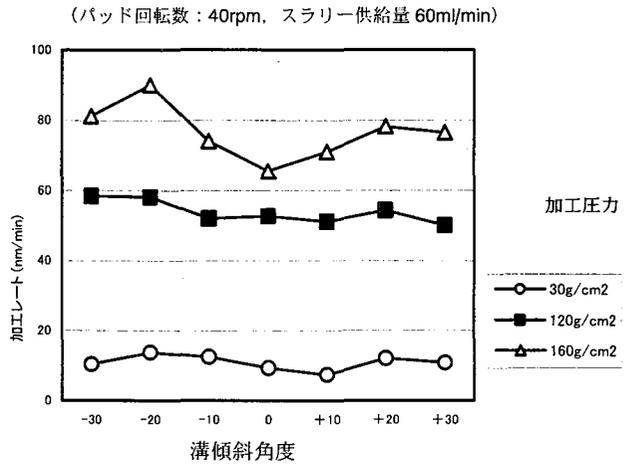


図6 パッド溝傾斜角度と酸化膜加工レートの関係

図6に、加工圧力を変えた時のパッドに形成した溝傾斜角度と酸化膜の加工レートの関係を示す。従来の垂直溝と比べ、溝をマイナス（内側）向き及びプラス（外側）向きにそれぞれ傾斜させたパッドの場合、加工レートが上昇する傾向が見られる。溝傾斜角度がマイナス側の場合、総じてプラス側よりは加工レートが高く、それは高い加工圧力の時、それが顕著であり、加工圧力160g/cm²では-20°で最大値を有する。

これは、回転するパッドの遠心力に対し、内側に向いた溝の方が外側に向いた溝よりスラリーを保持する効果が高いためであると考えている。溝傾斜角度±30°において加工レートが上昇しないことについては加工圧力に対して角度が大き過ぎるためにパッドの強度が低くなり、本来の溝の効果が発揮できないものと考察される。いずれにしても、溝の効果のみならず、機械的強度と合わせて溝傾斜角度の最適条件を見出す必要があるが、ここでは±20°と0°に注目する。

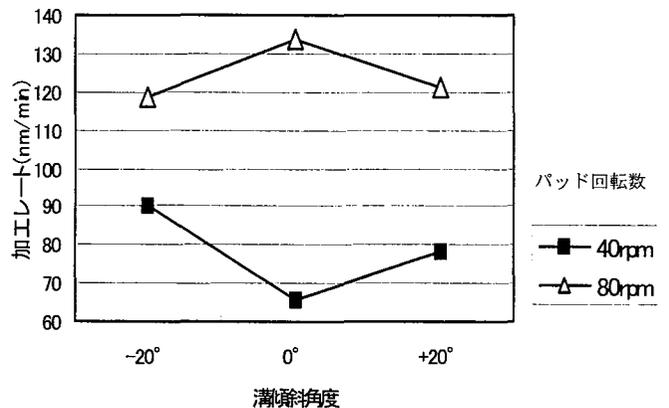


図7 パッドの回転数を変えた時の溝傾斜角度と加工レートの関係 (加工圧力160g/cm², スラリー供給量:60ml/min)

図7に、加工圧力 160g/cm²、スラリー供給量 60ml/min と一定にして、パッドの回転数を変えた時の、各種溝傾斜角度と加工レートの関係を示す。図のようにパッドの回転数が低速と高速の場合を比較すると、溝傾斜角度による加工レートの相違があきらかである。

低速の場合は図6で考察した通りであるが、高回転数の場合、 -20° では正圧が、 $+20^{\circ}$ では負圧がそれぞれ顕著になるため、加工レートの大小関係が逆転するものと考えられる。垂直溝(0°)の場合、動圧も生じているだろうが、2倍の高速回転の時、スラリーの廻りこみ・分散性が良好になり加工レートが高くなったものとする。これらのことから次の実験では、低速のパッド回転数におけるスラリー供給量を確認する。

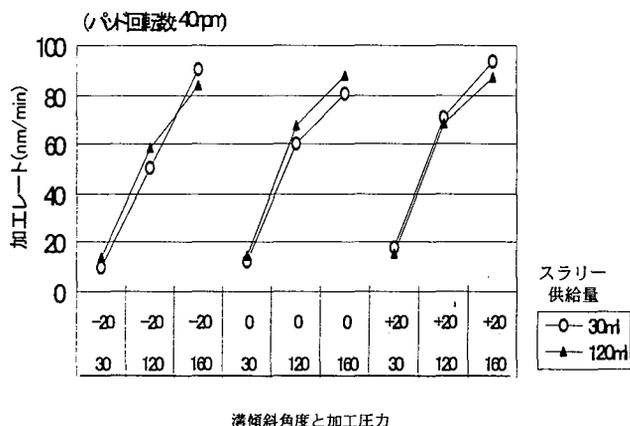


図8 スラリー供給量による加工レートの変化

図8はスラリー供給速度を変化させた時の、各種溝傾斜角度における加工圧力と加工レートの関係である。スラリー供給量の大小に関わらず、どの溝角度も加工レートに大差ないが、垂直溝(0°)の場合、高いスラリー供給速度(120ml/min)の方が若干高い加工レートになっている。換言すれば傾斜溝($\pm 20^{\circ}$)の場合、少ないスラリー供給量でもウエハ面内に効率よく分散しているものと考えられ、省スラリー化が期待される。

以上の実験結果より、

- 1) 従来の垂直溝と比べ、溝をマイナス(内側)向き及びプラス(外側)向きにそれぞれ傾斜させたパッドの場合、研磨レートが上昇する傾向が見られる。
- 2) 溝傾斜角度がマイナス側の場合、総じてプラス側よりは研磨レートが高い。マイナス溝傾斜角のパッドはスラリー保持効果が高い。

3) スラリー供給量が少ない場合でも、多い場合を上回る研磨レートを得ることができ傾斜溝の効果(ウエハ面内に効率よくスラリーを分散させる)を確認できた。

5. 結言

平坦化CMPの研究の一環として、パッドに形成する溝の断面形状角度に着目して加工特性を把握し、下記のこと明らかになった。

溝の傾斜角度は加工レートに影響を及ぼし、溝のマイナス側とプラス側に最適値($\pm 20^{\circ}$ 付近)がある。これは加工圧力が高い時程顕著である。パッドの回転数が高い条件の時、パッドとウエハ間で正または負の動圧が発生するなどスラリーの挙動が変化するものと考えられる。特に傾斜溝の場合、加工レートの観点からは、垂直溝と異なり低速回転の方が効率がよく、省スラリー化の可能性があることが明らかになった。

<参考文献>

- 1) 栗屋・山崎：半導体産業におけるCMP技術、精密工学会秋季大会論文集、p269(2003)
- 2) 土肥俊郎：詳説半導体CMP技術、工業調査会、2001
- 3) T.K.Doy et al. :Impact of Novel Pad Groove Designs on Removal Rate and Uniformity of Dielectric and Copper CMP, Journal of Electrochem.Soc., 151,3(2004)G196-G199