

ドラム式線接触ポリッシング法の研究

Study of Drum Type Polishing Technology

～ドラム定在位置における理論形状と実研磨形状の比較検討～

Investigation of correlation between calculated polishing profile and actual polishing profile
at each staying position of polishing drum

藤田 隆¹⁾, 相川 勝芳²⁾, 土肥 俊郎²⁾

Takashi Fujita¹⁾, Katsuyoshi Aikawa¹⁾, Toshiro Doy²⁾

¹⁾ (株)東京精密、²⁾埼玉大学教育学部

¹⁾Tokyo Seimitsu Co.Ltd., ²⁾Saitama University

〔概要〕

次世代CMP (Chemical Mechanical Polishing) 装置に対応する研磨方式として、線接触ポリッシング装置の開発を進めている。線接触ポリッシング方法では、連続的な線接触状態の重ね合わせにより研磨が進行し、ウェハに対するドラムの揺動条件を設定することで研磨形状を制御することが可能になる。通常の面接触研磨装置と比べ、研磨部へのスラリー搬送性やウェハパッド接触状態制御の点で、研磨各部位における研磨状態を精度良く設定することが可能となり、極めて均一な研磨加工が実現できるものと期待されている。

本研究では、この線接触ポリッシング方式に対し、厳密な揺動評価の前段階としてウェハに対する各ドラム定在位置における研磨形状に関し、理論形状と実際の研磨形状との比較を行った。その結果、ドラムのウェハに対する接触状態を考慮して得た理論形状は実際に得られた研磨形状とほぼ一致し、均一な線接触状態の下で適正な揺動条件を選択することで、均一研磨実現への可能性を見出した。

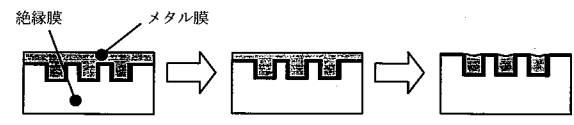
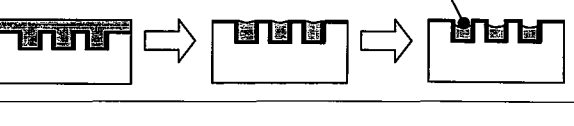

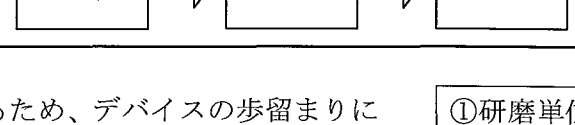
1. はじめに

近年、CMP (Chemical Mechanical Polishing) 技術の半導体製造工程における適用状況について、開発初期の層間絶縁膜平坦化工程への適用に始まり、タングステンプラグ形成技術や素子分離技術 (STI: shallow Trench Isolation)、そしてCu配線形成技術へとその適用範囲は次第に広がりつつある。従来、CMPはSiウェハ研磨加工に端を発した技術であるが、今となつては次世代半導体デバイス製造工程において、欠かすことのできない技術として認識されてきている¹⁾。CMPが多く半導体製造プロセス工程に適用されてきた背景として、その良好な平坦化特性と共に、研磨後に得られる表面の平滑性が考えられる。CMPでは、スラリー中に存在する化学液によって、研磨対象物を化学的に改質し、これを粒子によるアブレーション(引き搔き)作用により、局所的な圧力、熱が加えられることにより化学作用が助長され、研磨が進行する。このようなメカニズムにより、研磨レート向上し

つも、研磨による加工変質層を低減させ、平滑な平面が得られる。

一方で、近年特に各社開発を急いでいるCu配線プロセス用CMPなどにおいては、研磨均一性に対する要求が非常に厳しくなっている。表1に、研磨均一性の良・不良によるCu CMPダマシンプロセスの研磨形態を示す。ダマシンプロセスにおいて、研磨均一性の不良は、研磨対象膜を除去し終わる時間がウェハ内の場所によって大きく異なることを意味する。例えば表中において、研磨均一性が悪い場合、ウェハ内のある箇所Bにおいて研磨対象膜を除去し終わったとしても、別の箇所Aにおいては研磨残りが発生する。すべての箇所において研磨残りを残さないためには、最も研磨レートが遅い部分に合わせて長時間研磨せねばならず、このとき初期に研磨対象膜が除去し終わった箇所Bにおいては、研磨対象膜である配線膜が過剰に除去されることにより、ディッシングやリセス等が形成される。このディッシングやリセスにより配線断面積は小さくなるため、配線抵抗は増大し、信号速度の遅延

Table1. Diagram of polishing process difference between bad non-uniformity and good nonuniformity

研磨状態	箇所	研磨模式図 (First step)	研磨状態
研磨均一性 悪い場合	A		通常研磨で研磨均一性が良くない場合、すべての残膜を取りきるのに余分な研磨時間を要し、その間場所によってはディッシング・リセスが進行する。
	B		
研磨均一性 良い場合	A		極めて良好な研磨均一性を確保した場合、ウェハ内各位置でほぼ同時に除去され、余分に研磨する必要がなくなる。 →ディッシングフリー →リセスフリー
	B		

や断線などにつながるため、デバイスの歩留まりに大きく影響する。

このようにCu CMP等では、研磨均一性がデバイス性能を大きく支配する配線断面積という要素に直接影響するため、良好な研磨均一性確保についての要求はますます強くなると考えられ、次世代CMPにおいては、極めて良好な研磨均一性が望まれると予測される。

また、一方で研磨均一性向上技術もさることながら、研磨レートや研磨形状がCuの成膜技術に依存することも報告されている²⁾。特にCuの成膜過程においては、Cu膜厚が均一でない場合も多く、またCu成膜後のアニール工程によっても、Cuの膜質がウェハ内周部と外周部で変化していることもある。このような背景から、最近では均一に研磨できるのみならず、初期の膜厚形状や膜質分布を補正するような形状補正研磨も要求されている³⁾。今後のウェハ大口径化の傾向は、以上に述べた均一研磨並びに形状補正研磨に対し、課題解決を一層困難にするものと考えられ、次世代装置に対する研磨均一性の要求は非常に厳しくなってくると考えられる。

2. 線接触ポリッシング法の特徴

このような背景の下、本研究においては次世代CMPにおいて極めて良好な研磨均一性ならびに精度良い研磨形状制御を実現するために、線接触ポリッシング法を考案し、開発を進めている⁴⁾⁵⁾。線接触ポリッシング法では次に述べる利点を有する。

- ①研磨単位が線状であるがゆえに、研磨各部において精度良くパラメータを制御できる。
- ②研磨部にスラリーを均等に供給することが可能である。
- ③面接触研磨とは異なり、研磨されている線接触領域以外では、研磨面が露出しているため研磨中の計測が可能である。
- ④研磨パッドがドラム状であるため、ウェハと接触している研磨面と対向する箇所にドレッシング機構を取り付けることが可能となり、In-situ ドレッシングが可能となる。
- ⑤ドラムのウェハに対する揺動条件変化により、所望の研磨形状を自由に作り出すことが可能である。

今回本研究では、ドラムのウェハに対する揺動条件を検討する前段階として、ウェハに対する各ドラム定在位置における研磨形状に関し、理論形状と実際の研磨形状との比較を行った。その結果、ドラムのウェハに対する接触割合を考慮して得た理論形状は実際に得られた研磨形状とほぼ一致し、極めて均一な線接触状態を確立した上で、適正な揺動条件を選択することで、均一研磨実現への可能性を見出したので報告する⁶⁾。

3. 実験装置概要

図1に実験装置の模式図を示し、図2に試作した研磨装置の外観写真を示す。まず、ウェハ保持部はエアバッグによる均一加圧方式を採用しており⁷⁾、対面にあるドラムパッドにウェハ全体を均一に押し付けて研磨するようにしている。研磨パッド部は、

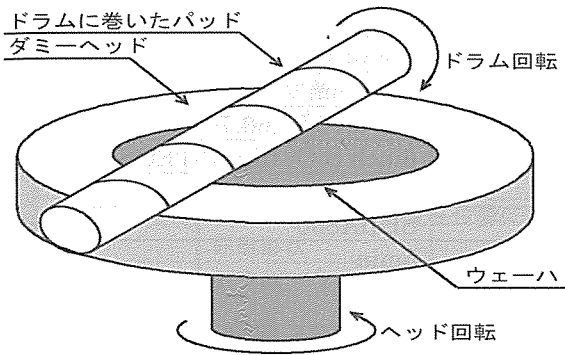


Fig.1 Diagram of drum type polishing machine

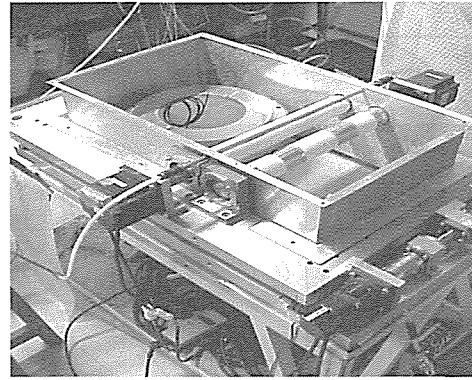


Fig.2 Overall view of drum type polishing machine

ドラム状であり、幅 35mm の長尺研磨パッドをφ40mmX350mm のドラムに 1~2mm の間隔を設けてスパイラル状に巻きつけ、スラリーが回り込みやすいようにしている。ドラム外側には直接DCモータが直結されており、両端支持構造で最高 3000rpm まで回転可能としている。スラリーはカバーに貫通したパイプから、シャワー状に均一に供給されるようになっている。また、試作装置ではウェーハに対し、ドラムパッドを一定方向にプログラム制御にて揺動させることが可能で、この揺動条件を変化させることで様々な研磨形状制御を可能としている。

4. 実験方法

線接触ポリッシング法では、線接触状態の連続的な重ね合わせにより均一研磨を実現する。均一研磨実現のためには、均一な線接触状態を確保することが必要になる。そこで、線接触状態を確認するため、ウェーハの回転を停止させた状態でドラムを回転させ、線接触状態の確認を行った。表 2 にそのときの研磨条件を示す。尚、研磨前に研磨パッドをドレッサーに押し付けて長時間ドレスをかけた後、研磨パッドの円筒形状を確保して研磨テストを行った。図 3 にウェーハ各位置における研磨レートを示す。ウェーハ各位置における研磨レートのばらつきは最大で ±8% 以下に抑えることができ、試作段階における初期性能として満足する性能を得ることができた。極めて均一な研磨形状確保のためには、極めて均一な線接触状態を確保する必要があるのだが、良好な線接触状態を確保するための今後の対策は後述するとして、今回はこの状態で研磨テストを行うこととした。

5. ドラム定在位置における理論研磨形状と実研磨形状との比較

Table2.Polishing condition

Parameter	Condition
Drum speed	1000rpm
Specimen	6inch SiO ₂ Film (P-TEOS)
Slurry	SC1(10wt%)
Pad	SUBA800
Polishing time	10sec

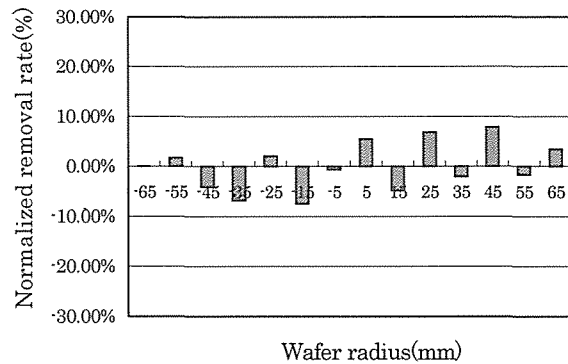


Fig.3 Normalized removal rate variation at each location on stationary wafer

ドラムのウェーハに対する揺動評価を行う前段階として、理想的な線接触状態が確保されたと仮定し、ドラムをウェーハ上の各位置に定在させたときの理論研磨形状を求める。各ドラム定在位置で再現良い研磨形状を得ることができれば、ドラムの定在時間割合を適正化して重ね合わせることで、均一な研磨形状を得ることが可能になると考えられる。図 4 に、ウェーハ上各位置にドラムを定在させた時の研磨形状導出方法を示す。まず、ウェーハ上における任意の半径 R の円周が、ドラムとウェーハ間で形成される Δa の幅を持つ微小面接触領域を通過する割合を考える。

Δa の幅を持つ微小面接触領域は Y_1 から Y_2 までの

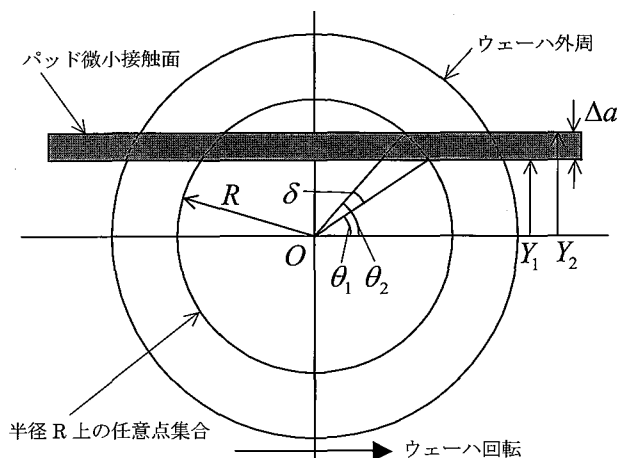


Fig.4 Polishing profile simulation at each staying position of polishing drum

範囲とすると、 Δa の幅を持つ微小面接触領域の通過する角度 δ は以下のようになる。

$$\delta = \theta_2 - \theta_1 \quad (5.1)$$

ここで θ_1, θ_2 は次式で表される。

$$\theta_i = \text{Sin}^{-1}(Y_i/R) \quad (i = 1,2) \quad (5.2)$$

ウェーハ一周の角度 2π に対し、微小面接触領域 Δa を通過する角度割合を r とすると、

$$r = \delta / \pi \quad (5.3)$$

となる。理想的な線接触研磨状態が確保されているとすれば、各半径毎の研磨レートはウェーハ一周あたりのドラムの接触割合に比例すると考えられる。図5にこのようにして求めたドラムの各定在位置における理論研磨形状を示す。理論研磨形状は、ドラム定在位置に対応するウェーハ半径位置で最も研磨量が大きくなり、そこからウェーハ外周部に向かって、

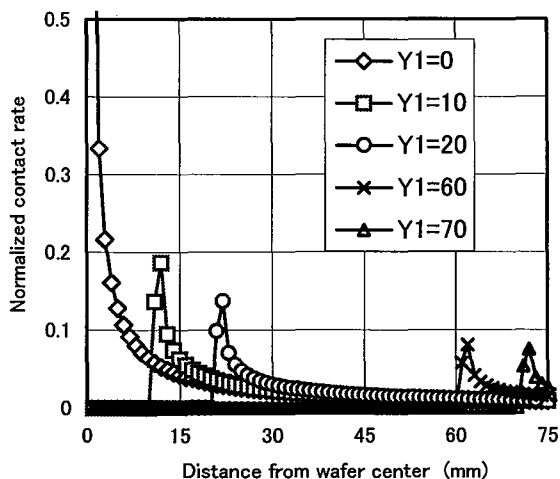


Fig.5 Polishing profile simulation at each staying position of polishing drum

Table3. Polishing condition

Parameter	Condition
Drum speed	1000rpm
Staying position	Y1=0,10,20,60,70
Specimen	6inch SiO ₂ film(P-TEOS)
Slurry	SC1
Pad	SUBA800
Polishing time	5min

研磨量が徐々に減少していく傾向になることがわかる。

次に、ここで求めた理論研磨形状結果を検証するため、実際にドラムの定在位置を変えて研磨を行った。表3に研磨条件を示す。6インチのP-TEOS膜を使用し、研磨パッドは長尺のSUBA800をドラムに巻きつけた。ダイヤモンドドレッサーで十分なパッドドレッシングを行い、図3に示す線接触状態を確認後、研磨テストを行った。図6にドラム定在位置をウェーハ回転中心から0mm, 10mm及び20mmにずらした場合の研磨形状結果を示し、図7に、ド

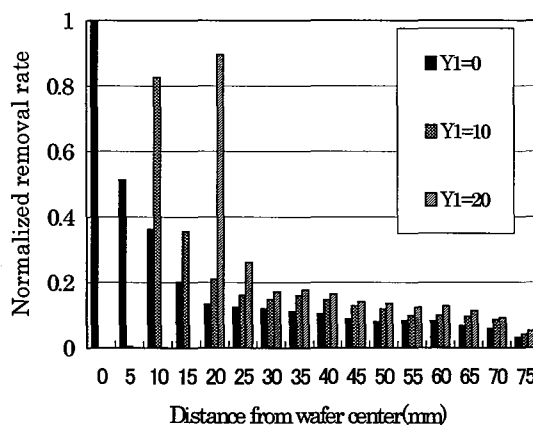


Fig.6 Polishing profile at each staying position of polishing drum(Y1=0,Y1=10,Y1=20)

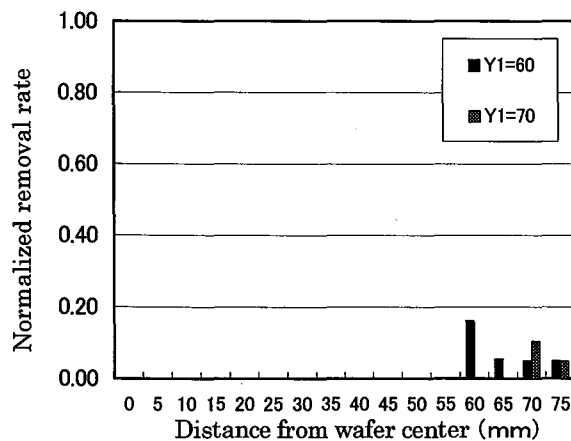


Fig.7 Polishing profile at each staying position of polishing drum(Y1=60,Y1=70)

Table4.Approach for acquiring excellent non-uniformity within wafer

ステップ	実施内容	課題解決のためのポイント
Step1	線接触状態均一性の確立 (研磨ばらつき:±1~2%以下)	・ドラムパッドの真円度・同軸度 ・ウェハとドラムパッドの平行度 ・スラリー供給の一様化 ・パッドドレッシングの一様化
Step2	ドラム-ウェハ各定在位置における 研磨形状	・ウェハに対するドラム送り平行度 ・ドラム-ウェハ相対速度
Step3	ドラム-ウェハ揺動テスト	・揺動時の振動低減 ・揺動運動の連続性
Step4	揺動最適化	・ドラムのウェハに対する定在時間割合最適化
→	均一研磨の実現	

ラム定在位置を 60mm 及び 70mm にずらした場合の研磨形状結果を規格化して示す。図に示した研磨形状は、図 5 に示した理論研磨形状とほぼ一致していることがわかる。これより、ウェハに対するドラムの接触割合を考慮した理論研磨形状により、実際の研磨形状を精度良く予測できることがわかった。この理論研磨形状と実際の研磨形状を一致させることが可能となれば、ウェハに対するドラム揺動解析により、精度良い研磨均一性予測が可能となる。また、揺動条件を適正化することにより極めて均一な研磨形状を得ることが可能になる。しかし、現在のところ厳密な形状一致のためには、更なる線接触状態の均一化を図る必要があると考えられ、装置精度等を見直す必要がある。表 4 に今後極めて良好な研磨均一性を得るために課題解決に向けてのアプローチとその対策に関する一覧を示す。極めて良好な研磨均一性を得るためには、まず線接触状態が均一に確保されていることが前提となり、その上で揺動評価を行う必要がある。そのための第一段階の施策として、ドラム真円度、同軸度、ドラム-ウェハ平行度、ドラム送り精度などを高精度に組み上げる必要があり、今後の重点課題として取り組んでいく予定である。

5. まとめ

次世代CMPに対応する研磨装置として、線接触ポリッシング装置を開発した。線接触ポリッシング装置では、研磨単位が線状であるために、研磨各部において精度良くパラメータを制御でき、極めて均一な線接触状態を確立することにより、極めて均一な研磨が実現できるものと期待される。

今回、本研究ではドラムの揺動条件を検討する前段階として、各ドラム定在位置における研磨形状に

ついて、理論形状と実際の研磨形状との比較を行った。その結果、ドラムのウェハに対する接触状態を考慮して得た理論形状は、実際に得られた研磨形状とほぼ一致することがわかり、均一な線接触状態の下で適正な揺動条件を選択することで、均一研磨実現への可能性を見い出した。

[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/芝浦工業大学 相川勝芳氏に感謝致します。また、沼本実氏をはじめとする(株)東京精密の関係者方々に感謝致します。

(参考文献)

- 1) 例えば、詳説半導体 CMP 技術(工業調査会)
- 2) S.Kordic,A.Inard,P.Motte,"Cu-CMP Strategies" Proc.6thInt.CMP-MIC conf. pp341-348, March2001
- 3) Mark Ferrra,Jim Schlueter,Dan Trojan,"Technical Advances in Chemical Mechanical Planarization",Proc.6th Int.CMP-MIC conf. pp99-107, March 2001
- 4) 土肥他, 1996 年精密工学会春季大会講演論文集 (1996)pp815
- 5) 酒井、土肥、山崎他、砥粒加工学会誌 Vol43, No.12 (1999)PP551
- 6) 相川、土肥他, 2000 年度精密工学会東北地方講演会論文集(2000)pp
- 7) T.K.DOY, H Jeong, T Nakagawa, H ohmori ISSM'95 (1995)pp214