

機関番号：33302

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20760090

研究課題名（和文）揺動制御ラッピング方式による大口径ワークの
超精密任意形状創成技術の開発研究研究課題名（英文）Development Study on Ultra Precision Lapping Technique of Large
Sized Workpiece by Oscillation Controlled Method

研究代表者

畝田 道雄 (UNEDA MICHIO)

金沢工業大学・工学部・准教授

研究者番号：00298324

研究成果の概要（和文）：本申請研究では大口径ワークの超精密任意形状創成技術の開発研究として、小径工具を用いた揺動制御ラッピング方式に着目した理論的並びに実験的な検討を行うとともに、当該方式の創成研磨特性を明らかにした。具体的には、小径工具が大口径ワークエッジからオーバーハングする際の研磨圧力分布の変化を有限要素解析と実験によって確認するとともに、観察実験を通じて研磨加工中におけるスラリーフローを明らかにした。そして、研磨圧力分布の変化を研磨シミュレーションにて考慮することによって、大口径ワークの全表面をミクロンオーダーで制御研磨し得る技術を開発した。

研究成果の概要（英文）：This study aims to develop and propose an oscillation controlled lapping method, which uses a small diameter lap tool and is classed in the single wafer lapping system, as an effective method to achieve high precision controlled lapping of large sized workpiece. As the results, it is clear that the relations among the slurry flow, pressure distribution with tool overhanging and lapping characteristics of the proposed method based on a series of experiments and theoretical results using finite element analysis. Moreover, it is founded that the slurry flow mechanism is changed greatly with an offset between the tool and the workpiece. Furthermore, the controlled lapping within under 1um is achieved by the proposed method

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学 ・ 生産工学・加工学

キーワード：超精密加工，ラッピング，揺動制御，大口径ワーク，高平坦化，研磨，形状創成，最適化

1. 研究開始当初の背景

シリコンウェーハに代表される大口径ワーク（以下、工作物）の高平坦化を可能にするため、4way方式によるラッピングやポリシングによる研磨加工が行われているが、近

年の工作物の大口径化に加えて、シリコンウェーハの場合にあつては製造歩留まりの向上を目的にウェーハ外周から1.5mmまでをデバイス領域として保証する必要があるなど、年々、工作物の研磨加工に対する諸要求

は高度なものになっている。特に、第1次研磨となるラッピングには高平坦度を達成することが求められるが、4way方式では装置の大型化による設置面積の増大やランニングコストの上昇が問題視されている。さらには、4way方式両面研磨装置に関しても、それに用いられる大口径定盤には高度な形状精度が求められ、特に、上定盤は主として宙づり形式による設置となることから、上定盤の形状創成にあっては、宙づりの際における定盤自重によるたわみ変形も考慮しての定盤形状創成（通常は中凸形状にすることが多い）が必要とされている。すなわち、現在のラッピング技術には、工作物となる大口径ワークとして、(1)300mmあるいはそれ以上の直径を有するウェーハの超高平坦度化とともに、(2)直径1mを超える研磨用大型定盤の超精密形状創成を達成することが求められている。

2. 研究の目的

上述の研究背景と申請者の現在までの研究実績に基づき、本申請研究は「揺動制御ラッピング方式による大口径ワークの高平坦化をも包含した超精密任意形状創成技術」を開発することを目的として実施する。すなわち、本研究の具体的目的（達成目標）は、次に示す4項目のとおりである。すなわち、

- (I)小径工具が工作物をオーバーラップする際に発生する圧力分布変動の影響を考慮に入れた研磨シミュレーションプログラムの開発とそれを制御研磨に適用したワーク全面制御研磨の達成
- (II)スラリーフローの可視化と研磨特性に及ぼす影響に関する考察
- (III)スラリーフローの定量的評価とさらなる高精度研磨の実現に向けた方策検討である。

3. 研究の方法

本申請研究では、「揺動制御ラッピング方式」について、適宜目的と実施項目の見直しを図りつつ、次に示す3項目を中心に研究を実施した。なお、これら項目番号は<2. 研究の目的>で述べた(I)~(III)にそれぞれ対応している。

- (I)本方式による工作物全面研磨の達成には、工作物端部の研磨において小径工具をオーバーハンクさせる必要があり、これによって、小径工具と工作物の接触部には圧力変動を生じる。したがって、当該圧力変動の影響を考慮した研磨シミュレーションプログラムの開発と実証試験を行う。
- (II)ラッピングではスラリーの供給方法が研磨特性に大きく影響を与えることが知られており、ここでは揺動制御ラッピング方式で高精度研磨を達成するためのスラ

リーフローの簡易可視化を行い、研磨特性に及ぼす影響を考察する。

- (III)上記におけるスラリーフローを定性的評価に留まらず、デジタル画像相関法を用いて定量的に評価し、オフセット（小径工具中心と工作物中心の間隔）がスラリーフローに及ぼす影響を明らかにする。

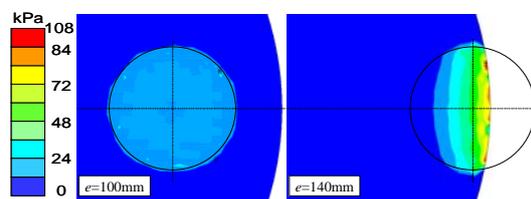
4. 研究成果

ここに研究成果を示す。なお、<3. 研究の方法>に示した(I)~(III)に対応させて記述する。

(I-1) 研磨圧力分布に関する有限要素解析

小径工具がオーバーハンクした場合における工作物表面上の研磨圧力分布の変化を検討することを目的に、本研究では汎用有限要素解析システムによる接触解析を行った。

図1は研磨圧力分布の解析結果の一例をコンター図で示したものである。コンター図は工作物表面上を表し、各図の右側が工作物外周側となる。円形の実線は各オフセットに対応する小径工具の位置を示す。この結果、研磨圧力分布はオフセットによって異なり、オーバーハンクしない場合には工作物上に均一な研磨圧力が付与されている。一方、オーバーハンクによって工作物エッジ部分の研磨圧力は増加している。特に、工作物エッジ部分での研磨圧力は解析条件（20kPa）の約4倍となる80kPa程度になる一方で、工作物内側の研磨圧力はほぼ0である。これらの結果から、小径工具がオーバーハンクすることによって、工作物表面上に付与される研磨圧力分布はオフセットによって変化し、工作物エッジ部分の研磨圧力が増加することを汎用ソフトウェアによる接触解析によって示すことができた。すなわち、小径工具がオーバーハンクすることによって工具には転倒トルクが作用する。その結果、小径工具に付与した荷重が工作物エッジ部分に集中し、当該部分の研磨圧力は増加したと考えられる。



(a) 無し (b) 有り
(オーバーハンクの有無)

図1 研磨圧力分布の解析結果の一例

(I-2) 研磨圧力分布を考慮した簡易理論研磨シミュレーションの方法提案

前述のように揺動制御ラッピング方式での研磨圧力分布は小径工具がオーバーハンクするとその形態が変化する。ここではオー

オーバーハングによる研磨圧力分布の変化を包含した簡易理論研磨シミュレーションの方法を検討した。

研磨圧力分布の変化を研磨シミュレーションで簡易的に包含するため、ここでは工作物半径方向における工具中心線下の圧力比率 $P_R(x)$ を考慮した。すなわち、小径工具がオーバーハングしない場合の圧力比率 $P_R(x)$ を1(研磨条件である20kPaに相当)とする。このとき、オーバーハングする場合で生じる研磨圧力分布の変化を表す圧力比率 $P_R(x)$ は、有限要素解析で得た工具中心線下の研磨圧力分布を $P_{FEM}(x)$ とすると、 $P_R(x) = P_{FEM}(x) / 20$ で与えられ、 $P_R(x)$ を理論研磨シミュレーションに包含することを提案した。

(I-3) 工作物全面の形状制御研磨特性の評価

ここでは上記で論述した簡易理論研磨シミュレーションを用いることによって、小径工具のオーバーハングを考慮した工作物全面に亘る形状制御研磨を検討した。図2は工作物全面に亘る形状制御研磨の結果であり、図中の点線が目標形状、破線が得られた理論結果、実線が理論結果に対応した実験結果である。なお、揺動制御ラッピングの実手順として(1)目標形状(点線)を定め、(2)目標形状に近づくように滞留位置(オフセット)と滞留時間の最適な組み合わせである制御パラメータを遺伝的アルゴリズムによって導出し、それに基づく理論結果(破線)を作成する。そして、(3)得られた制御パラメータ下での実験結果(実線)を得る、というプロセスである。

この結果、小径工具のオーバーハングを伴う工作物全面の研磨でも実験結果は理論結果に対して $\pm 1\mu\text{m}$ の範囲に収まっており、形状制御研磨を可能にしている。すなわち、簡易理論研磨シミュレーションによっても工作物全面の形状制御研磨を可能にと言える。一方、工作物の中心付近と外周付近において、実験結果は理論結果と幾分離れる傾向にある。このことは工具と工作物の相互間に介在するスラリーフローの影響を受けていると考えられることから、次項の検討を行った。

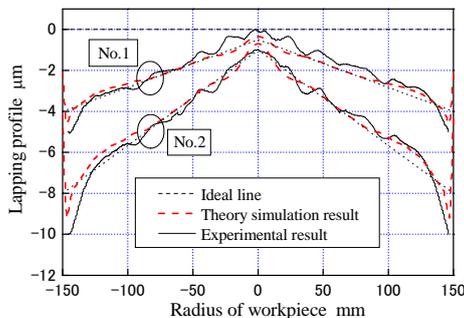


図2 工作物全面の任意形状創成結果

(II-1) スラリーフローの簡易可視化方法

ここでは小径工具と工作物間のスラリーフローを簡易的に可視化しての評価を試みた。図3はスラリーフロー観察実験のモデル図である。小径工具の直上からデジタルカメラの動画撮影機能を利用したスラリーフローの観察を可能とするため、小径工具には透明アクリル材をモデル工具として用いた。

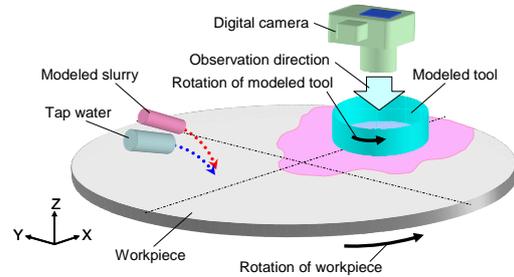


図3 スラリーフロー観察実験のモデル

(II-2) スラリーフローの観察結果及び考察

図4は各オフセットで得られたスラリーフローの観察結果である。この結果から、オフセットが小さい場合には、工具中心へのスラリーの流入が少なく、工具外周部分にスラリーが介在している。これは工作物中心と工具中心が近く、工具の研磨軌跡が広い範囲でオーバーラップすることに起因すると考えられる。このことから、工作物中心付近で実験結果の研磨量が理論結果に比較して大きくなったと考えられる。

オフセットが大きい場合には、小さい場合と比較してスラリー流入量は増加している。すなわち、工具下全体にスラリーが流入することによって安定した研磨状態を作ることができ、その結果、実験結果と理論結果は比較的一致したと考えられる。

一方、オフセットが大きく、オーバーハングを生じる場合には、工作物エッジ部分でスラリーの流入が比較的少ない。このことは、小径工具のオーバーハングによって工作物エッジ部分の研磨圧力が高くなるのが原因と考えられる。

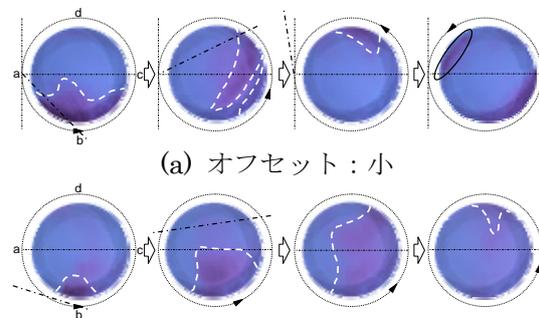


図4 スラリーフローの観察結果

したがって、このようなオフセットとスラリーフローの関係性を定量的に明らかにすることができれば、さらなる高精度制御研磨を実現し得ると考えられる。

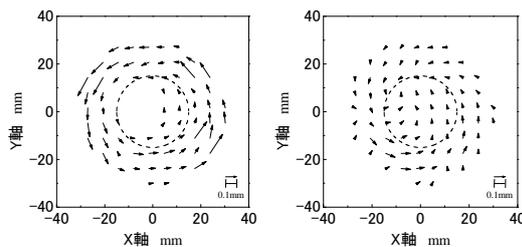
(III-1) デジタル画像相関法を用いたスラリーフローの定量的評価の試み

ここでは、スラリーフローの定量的評価を実施するため、デジタル画像相関法 (DIC 法) を用いた。このときの観察方法は以下のとおりである。まず、工作物上の任意の位置に小径工具を設置し、工作物上にスラリーを供給する。そして、工具の周囲をスラリーが満たしたことを確認した後、工作物と工具を反時計回りに回転させ、工作物の真上からデジタルカメラを用いてスラリーフローの動画を撮影する。なお、工作物と工具の接触面がスラリーで満たされた状態を定常状態と定義する。次に、撮影した動画から DIC 法を用いて計測結果を得る方法について説明する。

DIC 法は、測定対象の移動前の画像を基準画像、移動後の画像を比較画像として取得し、2つの画像を照合することで画像の移動量を計測する方法である。このとき、撮影した動画から定常状態の任意の時間で静止画像を取得する。この静止画像を基準画像として、基準画像から 3.33msec 後の画像を比較画像とする。そして、この2つの画像を照合することでスラリーフローの計測を行った。

(III-2) スラリーフロー計測結果

図5に各オフセットにおける工作物と工具の接触面内のスラリーフローの計測結果を示す。図中に示す矢印の長さはスラリーの移動量に比例し、向きはスラリーの移動方向を示している。また、接触面中心から直径 30mm の範囲を接触面内側、それ以外を接触面外側と定義する。図5を見ると、接触面外側でスラリーはどのオフセットでも円運動を行っている。これに対し、接触面内側ではオフセットが大きくなることでベクトルの向きは変化していることがわかる。接触面内側のスラリーは、オフセットが小さい場合には接触面の中心まで流入していない。オフセットがある程度大きい場合、スラリーは定盤の回転方向と同じ上向きに移動する。オフセットが大きくとオーバーハングを生じる場合、工作物のエッジ部分では工作物の回転に沿って、スラリーが上向きに移動していることがわかる。このスラリーの移動方向の変化は工作物の回転速度の変化が原因と考えられる。このことからオーバーラップ状態において接触面中心までスラリーが流入しなかったと考えられる。オフセットが大きくなると定盤の回転速度が速くなり、スラリーが定盤の影響を受けて移動したと考えられる。



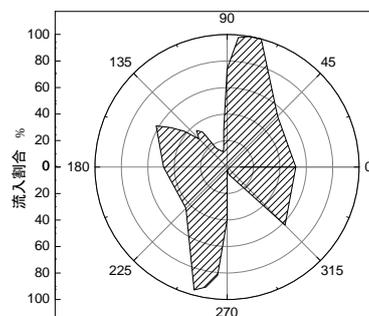
(a) オフセット：小 (b) オフセット：大
図5 スラリーフローの定量評価結果

(III-3) スラリーの接触面内への流入・排出

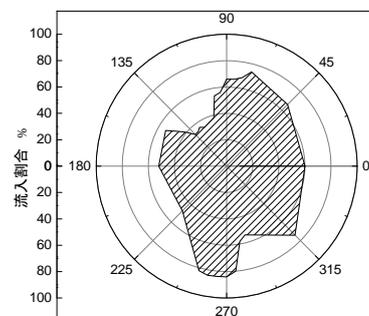
図5の計測結果から、工作物、定盤の接触面におけるスラリーフローの傾向を確認することができた。しかし、接触面外側のスラリーは円運動を行い、スラリーの接触面内外への流入・流出位置を明確に確認することは難しい。そこで、スラリーの流入・流出状況を確認するため接触面の縁部分に注目した。

図6にオフセットが小さい場合と大きい場合におけるスラリーの流入・排出割合を示す。図6からオフセットが小さい場合におけるスラリーの流入・排出割合は 90deg の位置で最大となり、オフセットが大きい場合におけるスラリーの流入・排出割合は 270deg の位置で最大となることがわかる。また、どちらでも 135deg の位置で最小となることがわかる。

このことから、オフセットの変化によって、スラリーの流入・排出機構も異なることを明らかにするとともに、定量評価を行うことができた。



(a) オフセット：小



(b) オフセット：大

図6 スラリーの流入・排出割合

そして、これら一連の成果は高精度制御研
磨を実現するための必須項目であると言え、
今後のさらなる検討によって超高精度任意
形状創成技術を完成させることができると
考えている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に
は下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① Michio UNEDA, Shintaro MURATA
and Ken-ichi ISHIKAWA: Study on
Quantitative Evaluation of Slurry Flow
Mechanism at Lapping Processing
using Digital Image Correlation
Method - Correlation of Slurry Flow
and Lapping Characteristics in
Oscillation Controlled Lapping -,
Proceedings of 5th International
Symposium on Advanced Science and
Technology in Experimental Mechanics,
(2010) CD-ROM. (査読有)
- ② 成瀬 尚, 畠田道雄, 石川憲一: 小径工具
による揺動制御ラッピングに関する研究
ーオーバーハングを考慮した研磨特性と
スラリーフローに基づく考察ー, 日本機
械学会論文集 (C 編), 75, 757 (2009-9)
2581-2588. (査読有)

[学会発表] (計 6 件)

- ① 畠田道雄, 村田慎太郎, 石川憲一: デジ
タル画像相関法を用いたスラリーフロー
の定量評価研究ー揺動制御ラッピング方
式におけるスラリーフローと研磨特性の
相関関係ー, 2010 年度精密工学会秋季大
会 学術講演会講演論文集, (2010)
357-358.
- ② 畠田道雄, 村田慎太郎, 石川憲一: デジ
タル画像相関法を用いたスラリーフロー
の定量評価研究ー揺動制御ラッピング方
式におけるスラリーフローのベクトル評
価ー, 砥粒加工学会・先端加工学会共催
先端加工ネットワーク 2010 年度研究・
開発成果発表会講演論文集, (2010)
47-48.
- ③ 村田慎太郎, 後閑一洋, 畠田道雄, 石川
憲一: デジタル画像相関法を用いた揺動
制御ラッピング方式におけるスラリーフ
ローの定量評価研究, 日本機械学会北陸
信越支部第 39 回学生員卒業研究発表講
演会講演論文集, (2010) 59-60.
- ④ 畠田道雄, 成瀬 尚, 石川憲一, 諏訪部
仁: 小径工具を用いた揺動制御ラッピ
ングの研究, 2009 年度精密工学会春季大会

学術講演会講演論文集, (2009) 299-300.

- ⑤ 畠田道雄, 成瀬 尚, 石川憲一, 諏訪部
仁: 小径工具を用いた揺動制御ラッピ
ングに関する研究ーオーバーラップを考
慮したウェーハ全面研磨の基礎検討ー,
2008 年度砥粒加工学会学術講演会講演
論文集, (2008) 21-22.
- ⑥ 畠田道雄, 成瀬 尚, 石川憲一, 諏訪部仁:
小径工具を用いた大口径ウェーハの揺動
制御ラッピングに関する研究ーオーバー
ラップ時に生じる偏荷重の簡易モデル化
と実験検証ー, 砥粒加工学会北信越ハイ
テク加工研究分科会 2008 年度研究・開
発成果発表会講演論文集, (2008) 21-22.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

畠田 道雄 (UNEDA MICHIO)
金沢工業大学・工学部・准教授
研究者番号: 00298324