

令和 5 年 6 月 29 日現在

機関番号：51401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04118

研究課題名（和文）スモールツールの高効率研磨を実現する電界創成研磨技術の開発

研究課題名（英文）The development of a high-efficiency polishing technology using small tool under electric field

研究代表者

池田 洋（Ikeda, Hiroshi）

秋田工業高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：90573098

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000 円

研究成果の概要（和文）：研磨除去量を目標寸法に高精度かつ迅速に仕上げる新しい研磨技術を創出するため、電動アクチュエータの推力を利用した荷重制御システムを開発し、スラリーに電界を印加可能な研磨ヘッドを試作した。このときの研磨特性を評価した結果以下の結論を得た。（1）電動アクチュエータを利用した新しい荷重制御方式により研磨除去量のばらつきを1/4に低減することができた（2）研磨圧力と研磨除去量が線形関係となることから、目標とする研磨量除去量を、研磨圧力で制御することが可能である（3）印加電圧4kVのとき無電界と比較し45%の研磨除去量向上が得られた。以上より、スモールツールによる電界修正研磨技術の基礎的な知見を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、次世代半導体材料の製造コスト削減、および製造リードタイムの短縮を実現できる技術として開発を進めており、昨今の半導体不足解消に貢献できるものと考えられる。また、スモールツールによる研磨は非球面レンズの仕上げ加工として採用されているが、半導体基板の部分修正による平坦化確保、さらに電界を付与しながら研磨加工量と表面粗さを予測し、迅速に工作物表面を加工する技術は他に類似する事例は存在しない。本研究で提案する研磨技術の適用範囲は平面基板の他、非球面レンズなど工作物の形状に依存しないことから、光学分野など様々な分野における高効率製造技術の構築に貢献できる技術である。

研究成果の概要（英文）：The correction polishing using a small tool is expected to be a technology for achieving highly efficient polishing of semiconductor wafers. However, in correction polishing, high-precision control of the polishing pressure is required to prevent excessive removal in the planarization.

Therefore, we have started to develop a new polishing load control system using an electric actuators. Furthermore, we have attempted to enhance a polishing removal amount using the electric slurry control technique. As the result, it was found that the variation of the removal amount decreased by 1/4 compared to the conventional load control system. Furthermore, the polishing removal amount was increased by 45 % at applied voltage 4kV. Therefore, we clarified that the proposed polishing technology has the capability to obtain the high precision and rapid polishing.

研究分野：精密加工プロセス

キーワード：電界 砥粒 スラリー 研磨 非球面レンズ 半導体ウエハ

1. 研究開始当初の背景

SiC ウエハのコスト低減を図るために大口径化が検討されているが、基板の単価が上昇することから、材料を有効に活用するためにウエハ表面の部分的な不具合箇所を修正することによって、基板を再利用することが必要となっている。この課題を解決する方法の一つが、図1に示すようなCMPの加工原理を適用したスモールツール(小径工具)¹⁾による部分的な修正研磨方法である。本加工方法によって、最小限の加工コストで全体の平坦性を確保する研磨方法として有効であると考えられる。本来、スモールツールによる研磨は非球面レンズ全体を目標形状に仕上げる加工に採用されている。この際、設定した寸法・形状に仕上げるためにツールの滞在時間や移動速度を変化させながら研磨除去量を調整する。しかし、ツールの研磨荷重の変動などにより除去量にばらつきが発生するため1回で研磨が終わらず、測定と修正研磨を幾回か繰り返す必要があり相当な加工時間を要する²⁾。

したがって、特定の部分のみ加工を行う修正研磨では、無加工である周辺部との段差を無くした連続平坦面を確保することが要求され、意図する加工寸法を確実に得るために研磨除去量に大きく影響を及ぼす研磨荷重を高精度で制御することが必要不可欠である。

一方、スマートフォンなどの需要増加に伴い、電子デバイスの市場投入サイクル短縮化が加速しており、半導体製造のリードタイム短縮化・製造コスト削減に資する高効率研磨技術の創出が必要不可欠となっている。

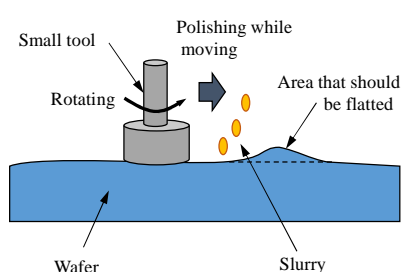


Figure 1 The correction polishing by small tool for wafer planarization

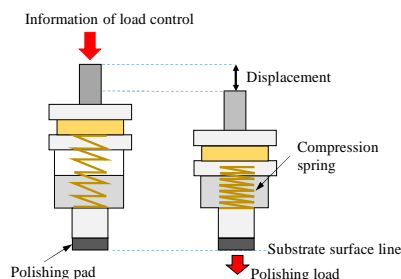


Figure 2 Method of polishing load using compression spring

2. 研究の目的

一般的な荷重制御方法としては、図2に示すように、ツールの構造を簡易化できるばねを利用することが多いが、高精度荷重制御としては不利と言われている。そこで、本研究では、これらの課題を解決するために、従来のばね式に替わって、高精度な研磨荷重の制御が期待できる電動式アクチュエータを活用した新たな方式を考案した。そして、スモールツールによる修正研磨を迅速に行うことを目的に、池田らが開発している電界スラリー制御技術³⁻⁴⁾と前述の高精度荷重制御方式を融合した「電界修正研磨技術」を創出する。具体的には、高精度な研磨荷重制御が期待できる新たな研磨ヘッドを開発した上で、電界環境下における基礎的な研磨特性を評価し、電界修正研磨技術の有効性について評価する。

3. 研究の方法

意図する研磨荷重での加工が期待できる電動方式による制御、および電界スラリー制御技術を融合した研磨ヘッドを開発し、研磨荷重の制御特性、および工作物の研磨特性を評価するために、それぞれ実験を行った。

(1) 専用研磨ヘッドの開発

ばねに替わり高精度な荷重制御に期待できる電動アクチュエータを搭載した研磨ヘッドを考案した(以降、電動方式)。なお、本研究で使用した電動アクチュエータの推力のばらつきはメーカー保証値 $\pm 5\%$ 以下である。図3に電動方式による荷重制御機構を搭載した研磨ヘッドの概要を示す。想定する研磨荷重は最大で3.5Nを想定している

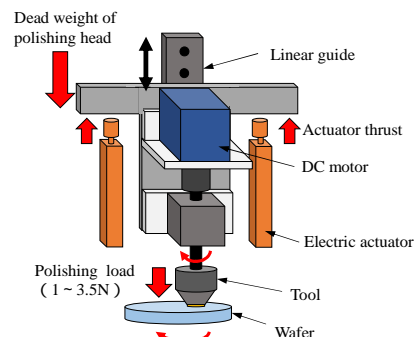


Figure 3 Schematic diagram of polishing head applied

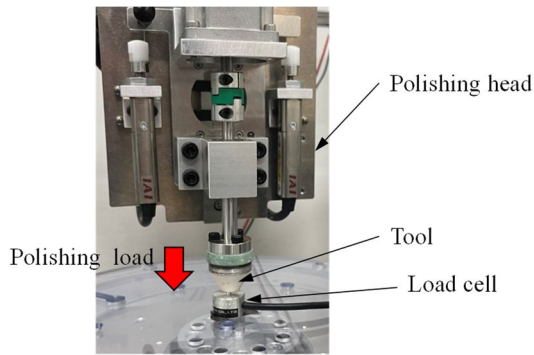


Figure 4 The method of measuring polishing load

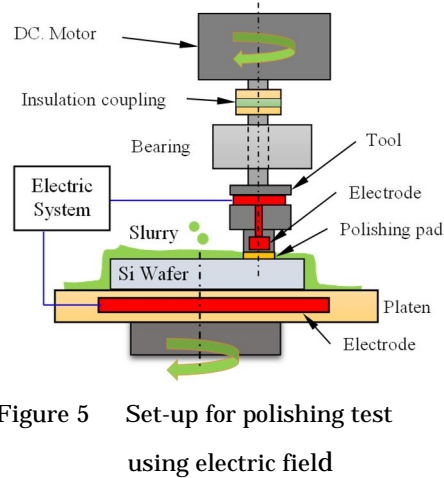


Figure 5 Set-up for polishing test using electric field

が、研磨ヘッドを構成するモータやベアリングなど複数部品の自重により常に約 5 N の研磨荷重が発生する。そこで、電動アクチュエータを図に示すように、ロッド動作を上方向とし、推力(押しつけ力)を変化させることで自重を軽減しながら研磨荷重をコントロールする機構とした。

(2) 研磨荷重制御特性の評価

開発した電動式荷重制御を適用した研磨ヘッドの有効性を検討するために、従来のばね方式、および電動方式における荷重制御の精度を比較した。図 4 に示す通り、試作した研磨ヘッドに搭載したツール先端部の荷重測定にはロードセルを用い、研磨圧力 29.4 kPa (研磨パッドの面積を 78.5mm² とした場合) を目標値としてその時の繰り返し精度を評価した。

(3) 電界下における研磨特性の評価

図 5 に試作した研磨実験装置の概要を示す。ツールは電気的絶縁性を確保するため樹脂製とした。先端部に電極を内蔵し、スリップリングとブラシを通して電界制御装置と接続され、ツールが回転運動を伴う場合でも電極に高電圧を印加することを可能とした。研磨パッドはツール先端部分に貼り付けた。

また、定盤は絶縁性材料で作製し電極を設置した。工作物は下側電極上方の定盤表面に貼り付け、工作物と研磨パッドの接触界面、すなわち研磨界面にスラリーを滴下し研磨実験を行った。

4. 研究成果

(1) 研磨荷重方式と研磨圧力

図 6 に、前述した 2 方式の荷重方式による研磨圧力を比較した結果を示す。両方式とも、研磨圧力の平均値は目標の 29.4 kPa を示しているが、ばらつきは、ばね方式、電動方式それぞれ、 ± 5 kPa, ± 0.6 kPa となった。これより、荷重の繰り返し精度は、電動方式を採用することによって 1/8 に低減することが分かり、ばらつきが少ない高精度な研磨除去量が得られることに期待できる。

(2) 電動式研磨荷重制御下における研磨特性

図 7 に、研磨圧力と研磨除去量の関係を示す。本図より、研磨圧力と研磨除去量が線形関係となっていることがわかる。このことから、本研磨ヘッドによって目標とする研磨除去量を、研磨圧力を変化させることで正確に得ることが可能と考えられる。

一方、研磨除去量のばらつきは、研磨

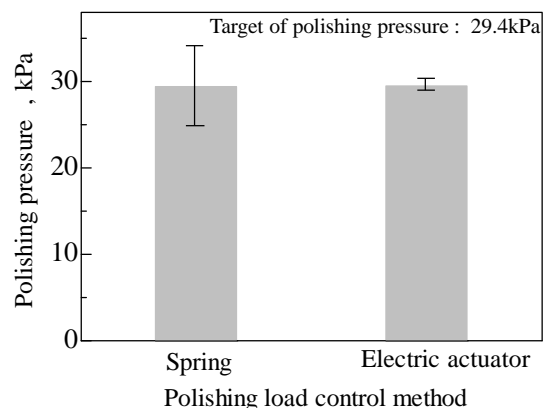


Figure 6 Polishing pressure various load control method

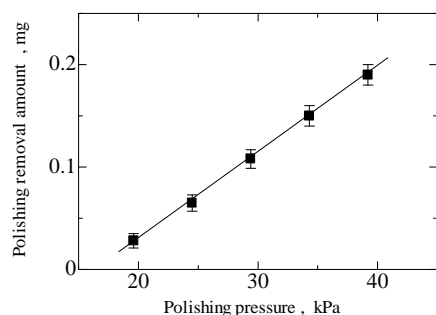


Figure 7 Relationship between polishing pressure and polishing removal amount

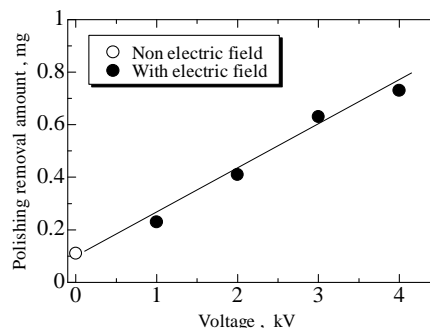


Figure 8 Relationship between voltage and polishing removal amount

圧力 29.4kPa のとき平均値に対して $\pm 0.01\text{mg}$ となっている．従来のばねによる荷重制御方式の場合，研磨除去量のばらつきは同じ条件で $\pm 0.04\text{mg}$ であった．したがって，電動方式による荷重制御は，研磨除去量のばらつきを 1/4 に低減させることが可能となる．なお，電動方式は従来のばね方式と比較し，研磨除去量は 1/4 の低減に留まった．この原因として，研磨時に発生するツール上下方向の振動による研磨圧力の変動が考えられる．この振動と研磨除去量のばらつきのメカニズム解明については今後の課題とし，最適な電動アクチュエータの開発の指針とする．

(3) 電界環境下における研磨特性

図 5 に示す研磨実験装置を使用し電界環境下における研磨実験を行った．図 8 に印加電圧と研磨除去量の関係を示す．これより，印加電圧の増大に伴って研磨レートが向上することが確認できた．これまで電界スラリー制御技術は工作物より研磨パッドが数倍程度大きい一般的な CMP において研磨除去量の向上効果が確認されている．この際，電極も工作物より大きくなるため，研磨界面に存在する全てのスラリーに対し吸引力が作用し配置制御されることから，20 % の電界効果が得られたとの報告がある³⁾．それに対し電界修正研磨技術では，工作物の数分の一の大きさである電極を内蔵したツールが工作物上を移動しながら研磨するため電界効果が限定的となる懸念があった．

しかし，本実験結果より，スモールツールによる研磨においても研磨除去量に対する電界効果が得られ，印加電圧 4 kV のとき研磨除去量は無電界と比較し 45 % 増加した．工作物の表面全域ではなく，部分的に電界を印加しながら研磨する方法においても研磨除去量向上の効果が得られることから，スモールツールによる電界修正研磨技術が迅速研磨に有効である基礎的知見を得ることができた．

< 引用文献 >

- 1) 野村和司：最近の非球面加工技術，光学，Vol.22，No.2，pp.82-87 (1993)
- 2) 品田邦典：光学素子の研磨加工技術，光学，Vol.25，No.2，pp.76-81 (1996)
- 3) 池田洋，赤上陽一，畝田道雄，大西修，黒河周平，土肥俊郎：電界砥粒制御技術を適用したガラス基板の高効率研磨技術の開発，精密工学会誌，Vol.77，No.2，pp.1146-1150 (2011)
- 4) Hiroshi Ikeda¹，Yoichi Akagami¹，Michio Uneda，Osamu Ohnishi，Syuhei Kurokawa and Toshiro K. Doi：The Novel Polishing Technology for Glass Substrates Using Tribochemical Reaction and Electrical Slurry Control，Journal of The Electrochemical Society，Vol.159，No.4，H421-H424 (2012)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 池田洋, 野澤正和, 櫻田陽, 久住孝幸, 越後谷正美, 赤上陽一	4. 巻 Vol.44
2. 論文標題 電界スラリー制御技術を適用したスモールツールによる高効率研磨技術の開発	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 教育工学論文集	6. 最初と最後の頁 59-61
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 久住孝幸, 越後谷 正見, 池田洋, 細川遥花, 中村竜太, 大久保義真, 赤上陽一	4. 巻 66
2. 論文標題 電界砥粒制御技術を用いた新たな切断加工技術	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 砥粒加工学会誌	6. 最初と最後の頁 632-637
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 池田洋, 船木陸, 久住孝幸, 越後谷正美	4. 巻 33
2. 論文標題 スモールツールによる新たな高効率修正研磨技術の創出	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本素材物性学会誌	6. 最初と最後の頁 18-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計19件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 小野夏美, 池田洋, 久住孝幸, 赤上陽一
2. 発表標題 電界スラリー制御技術を適用したスモールツールによる高効率研磨技術の開発
3. 学会等名 機械学会東北支部第58期秋季講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 土田真子, 池田洋, 久住孝幸, 赤上陽一
2. 発表標題 スモールツールによる新たな高効率修正研磨技術の創出
3. 学会等名 2022年度砥粒加工学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 池田洋, 小野寺宏太, 久住孝幸, 赤上陽一
2. 発表標題 スモールツールによる電子デバイス向け基板の高効率研磨技術の開発
3. 学会等名 2022年度砥粒加工学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 細川遥花, 池田洋, 久住孝幸, 赤上陽一
2. 発表標題 電界スライシング技術におけるスラリー濃度依存性に関する基礎検討
3. 学会等名 2022年度砥粒加工学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 池田洋, 遠藤大輔, 久住孝幸, 赤上陽一
2. 発表標題 電界砥粒制御技術を適用した高効率ラッピング技術の研磨特性
3. 学会等名 2021年度砥粒加工学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤 唯我, 池田洋, 久住孝幸, 赤上陽一
2. 発表標題 電界制御技術を適用した高効率創成研磨技術の開発
3. 学会等名 令和3年度 東北・北海道地区高等専門学校専攻科産学連携シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 船木陸, 池田洋, 久住孝幸, 赤上陽一
2. 発表標題 スモールツールによる新たな高効率修正研磨技術の創出
3. 学会等名 令和3年度 東北・北海道地区高等専門学校専攻科産学連携シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤 唯我, 池田洋, 久住孝幸, 赤上陽一
2. 発表標題 電界制御技術を適用した高効率創成研磨技術の開発
3. 学会等名 第22回秋田材料工学懇話会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 船木陸, 池田洋, 久住孝幸, 赤上陽一
2. 発表標題 スモールツールによる新たな高効率修正研磨技術の創出
3. 学会等名 第22回秋田材料工学懇話会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 船木陸,池田洋,久住孝幸,赤上陽一
2. 発表標題 電界スラリー制御技術を適用したスモールツールの基本的研磨特性
3. 学会等名 2020年度砥粒加工学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤唯我,池田洋,久住孝幸,赤上陽一
2. 発表標題 電界下における研磨条件がスモールツールの研磨特性に及ぼす影響
3. 学会等名 2020年度砥粒加工学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 遠藤大輔,池田洋,久住孝幸,赤上陽一
2. 発表標題 電界砥粒制御を適用したサファイア基板向け高効率研磨技術の開発
3. 学会等名 2020年度砥粒加工学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤唯我,池田洋,久住孝幸,赤上陽一
2. 発表標題 電界下における研磨条件がスモールツールの研磨特性に及ぼす影響
3. 学会等名 令和2年東北地区高等専門学校専攻科 産学連携シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 遠藤大輔, 池田洋, 久住孝幸, 赤上陽一
2. 発表標題 電界砥粒制御を適用したサファイア基板向け高効率研磨技術の開発
3. 学会等名 令和2年東北地区高等専門学校専攻科 産学連携シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 船木陸, 池田洋, 久住孝幸, 赤上陽一
2. 発表標題 電界スラリー制御技術を適用したスモールツールの基本的研磨特性
3. 学会等名 令和2年東北地区高等専門学校専攻科 産学連携シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 池田 洋, 奈良泰七, 三浦辰徳, 久住孝幸, 越後谷正美, 赤上陽一
2. 発表標題 電界砥粒制御技術を適用したオイルベーススラリーの砥粒分布挙動について
3. 学会等名 2019年度 砥粒加工学会 学術講演会 (ABTEC2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池田 洋, 大橋 儀宗, 久住孝幸, 越後谷正美, 赤上陽一
2. 発表標題 電界スラリー制御技術を適用したSi 向け小型片面研磨装置の開発
3. 学会等名 日本機械学会 2019年度年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大橋 儀宗, 池田 洋, 久住 孝幸, 越後谷 正見, 赤上 陽一
2. 発表標題 電界スラリー制御技術を適用したスモールツールによる高効率研磨技術の開発
3. 学会等名 令和元年度東北地区高等専門学校専攻科産学連携シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 遠藤 大輔, 池田 洋, 久住 孝幸, 越後谷 正見, 赤上 陽一
2. 発表標題 電界砥粒制御技術を適用したサファイア基板の研磨特性
3. 学会等名 令和元年度東北地区高等専門学校専攻科産学連携シンポジウム
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------