

令和元年6月17日現在

機関番号：51401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06030

研究課題名(和文) 新たなスラリー分布制御技術による高効率加工技術のメカニズム解明

研究課題名(英文) Study on high-efficiency polishing technology with the new techniques to control slurry distribution at the polishing area

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) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：電界制御技術を適用した高効率研磨技術を創出するために、研磨領域のオイルベーススラリーに電界を印加した時の砥粒濃度分布状態、及び研磨特性を評価した。その結果、砥粒濃度、およびその分布状態から推測した砥粒数は、印加電圧、および周波数に依存することがわかった。このことを、サファイア基板の研磨実験にて検証したところ、研磨領域の砥粒数が多いほど研磨速度が高いことが分かった。これらのことから、電界を印加することによって研磨領域の砥粒数を増加させることが、研磨速度の向上に大きく影響を及ぼすことを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、電力消費量の削減に大きく貢献するLED照明への置き換えが加速しているが、LED基板に用いられるサファイアは難加工性材料として知られている。そのため、基板の製造コストが比較的高い。本研究では、電界制御技術を適用した高効率研磨技術のメカニズムを解明し、とくにサファイア基板の研磨速度向上に一定の効果を得ている。さらに、本技術はSiCなど他の難加工性材料基板の高効率研磨にも適用可能で、わが国の半導体産業の振興に期待できる。

研究成果の概要(英文)：In order to propose high-efficiency polishing technology, we attempted to examine the abrasives (in oil base slurry) distribution in polishing area and polishing characteristic using the electrical control technique. As a result it has been realized that the number of abrasives in polishing area were depended on applied voltage and frequency. Furthermore it was found that the removal rate of sapphire substrate increased with increasing number of abrasives in polishing area by polishing evaluations. Therefore we clarified that increasing the number of abrasives using the electrical control technique led to enhance the polishing rate.

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

## 1. 研究開始当初の背景

世界規模での省エネルギー機運の高まりによって、発光ダイオード（LED）を搭載した機器の市場が活況を呈しており、その基板材料として主にサファイアが用いられている。また、半導体材料としてシリコンが現在の主流となっているが、同材料の物性値により今後のパワーデバイス製品の高性能化が限界に近づいてきたといわれている。そこで、省エネルギー効果を得るためにも従来のシリコン半導体からワイドギャップ半導体である SiC（炭化ケイ素）を使った次世代半導体への置き換えが加速し、実用化へ向けた技術開発が進んでいる。[1] 一方、サファイア、及び SiC は高硬度かつ高い化学安定性を示すことから難加工性材料として知られ、基板加工プロセスに必要な時間が非常に長い。中でも高品位な面に仕上げる工程であるラッピング、CMP（Chemical Mechanical Polishing）の研磨工程ではとくに加工に長時間を要し、量産化、汎用化、そしてウェハの大口径化へのボトルネックの一つとなっている。

一般的に CMP 技術は、材料が有する特性を十分に発揮させるため、遊離砥粒研磨を原理とした無歪みの平滑鏡面にする最終仕上げ加工として採用されている。しかし、通常の CMP 技術は回転運動を伴うため遠心力が発生し、スラリーが研磨領域外へ飛散する。これによってスラリーに内在する砥粒が研磨領域内にてその分布が偏在し研磨効率が低下し、多くの加工時間を要する要因となっている。[2]このことは前記した難加工性材料の研磨において、著しく加工速度を低下させる要因となっており、加工環境制御型の加工技術や紫外光支援加工技術など新しい研磨加工法に関する研究や、添加剤を改良することによって研磨促進効果が得られるスラリーの開発が進められている。[3]

また、赤上らは、研磨領域に電界を印加することによって砥粒を保持する技術として電界砥粒制御技術を提案している。[4] 本技術は、絶縁性オイルベーススラリーを用いた金属材料の研磨を対象としており、スラリーを構成する砥粒ならびに溶媒の誘電率の差を積極的に利用することによって電界下での砥粒運動を制御するものである。電界砥粒制御技術は高効率研磨技術として超合金など金属類の加工への導入が進んでいる。

研究代表者は、これまでにガラス基板の高効率 CMP を実現するために、電界砥粒制御技術を酸化セリウム砥粒を用いた水ベーススラリーに応用し、電界によって砥粒を含むスラリーそのものの運動を制御する電界スラリー制御技術を開発してきた。[5] 本研究では、電界制御技術を難加工性材料に適用した場合の高効率メカニズムを解明するため、サファイア基板を対象に研磨領域におけるスラリー分布と研磨特性の両面から評価を実施する。そして、電界制御技術を適用したサファイア基板の高効率研磨技術を提案する。

## 2. 研究の目的

本研究は、サファイア基板の高効率研磨技術を実現することを目的とした研究開発である。これまでに、研究代表者らは研磨領域のスラリー分布改善が研磨効率向上へ直結することを示してきた。本研究では、はじめに、新たな知見として、これまでに未着手であった電極形状の最適化を図るため、コロイダルシリカスラリーを使用した観察実験を行う。ここでは、水ベーススラリーを使用することで、サファイア基板における高効率 CMP 技術の最適な電極形状を評価する。次に、電界制御技術の高効率メカニズムをさらに明らかにするため、スラリーに内在する砥粒濃度の分布制御に着目し、オイルベーススラリーを使用した砥粒観察実験を行うとともにサファイア基板の研磨特性を評価する。

これらの評価を通して、電界制御技術を適用したサファイア基板の高効率研磨メカニズムを解明するとともに、最適な電極形状ならびに電界条件を明らかにする。

## 3. 研究の方法

### （1）スラリー挙動観察実験システムの試作

図1に試作したスラリー挙動観察実験システムを示す。本実験システムはスラリーを供給・排出するためのポンプ、任意の波形を生成し 1000 倍に増圧する電界制御システム、スラリー挙動可視化ユニット、および照明で構成される。また、挙動可視化ユニットには研磨ヘッドとして透明電極付きガラス、いわゆる ITO（Indium Tin Oxide）を搭載し、研磨ヘッド下側定盤間に電界を発生させると同時に研磨界面のスラリー状態の観察を可能とした。研磨ヘッドは単軸ロボットにて、上下に駆動される。この時、研磨ヘッドと定盤には隙間を設定しあえてスラリーの流動性を確保した。

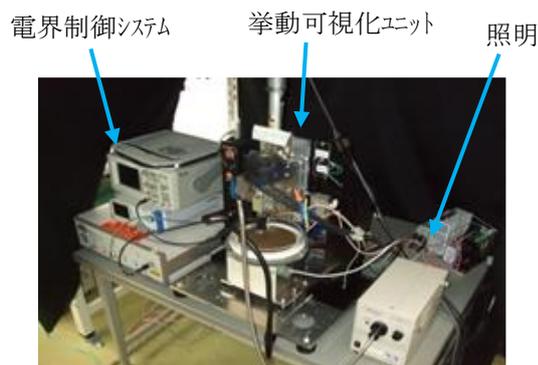


図1 スラリー挙動観察実験システム

## (2) 電極形状の評価

今回、評価する電極機能を有した研磨ヘッドは、図2に示す3種類をITOガラスにて試作した。電極形状は、ガラス全面を電極とした「全面電極」、研磨試料領域のみに電極を蒸着した「ドーナツ型電極」、そして「個別電極」である。また、本研究では実際の研磨の状況に近づけるためにITOガラスに研磨試料を張り付けて実験を行った。研磨試料はサファイアガラスを用い、ワックスでITOガラスに張り付けた。また電極部分と軸取付け金具を導通させるために導電性接着剤を使用した。実験は、研磨ヘッドと定盤間にスラリーを滴下し、電界を印加したときの試料部分における砥粒分布状態をハイスピードカメラで撮影し記録する。

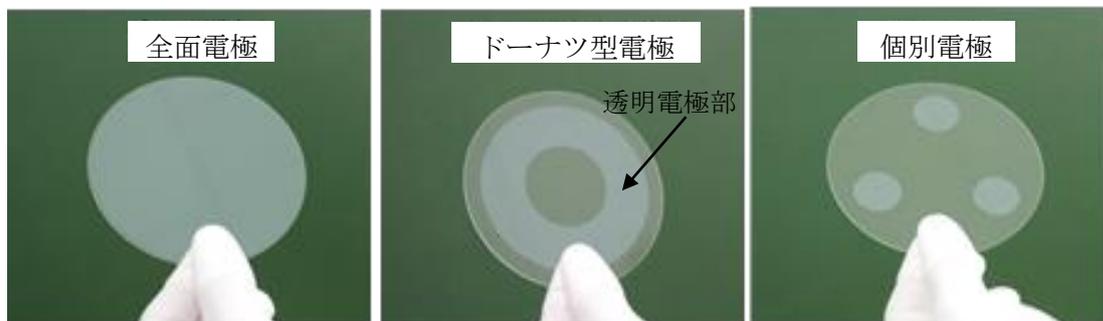


図2 試作した研磨ヘッド (ITO ガラス)

## (3) 砥粒濃度分布の評価方法

研磨領域における砥粒濃度分布の評価には、スラリーに内在する砥粒の分布状態を確実に捉えるためオイルベーススラリーを使用した。オイルはシリコンオイル、砥粒はダイヤモンドパウダーとした。観察実験装置、及び研磨ヘッド(電極)は先述したものを使用し、試料としてサファイア基板を貼り付けた。

(2)の実験と同様に研磨ヘッドと定盤間にスラリーを滴下し、電界を印加したときの試料部分における砥粒分布状態をハイスピードカメラで撮影し記録する。そして、得られた砥粒分布画像にポストリゼーション処理(階調変更)を施し、図3に示す様、砥粒密度(濃度)を色相で表現した。その後、砥粒濃度による重み付け処理を行い、各色相の面積の総和を無次元数の砥粒分布指数として算出した。なお、ポストリゼーション処理とは、グラフィックの階調を変更する画像処理で、今回は通常の256階調から4階調に減少させることによって砥粒分布解析を可能にした。

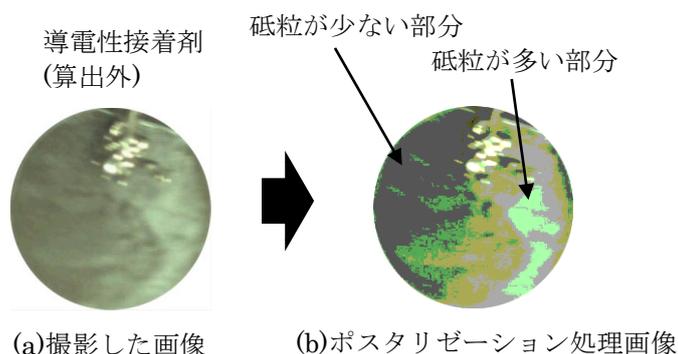


図3 ポスタリゼーション処理した画像例

## (4) 研磨装置

前記した砥粒濃度分布の評価結果を検証するため、図4(a)に示す研磨装置(BUEHLER社製)、および図4(b)に示す電界制御システムを用いて研磨実験を実施した。電界制御システムは観察実験と同様にオシロスコープ、波形発生装置(ファンクションジェネレータ)、および高電圧アンプで構成される。スラリーは平均粒径 $2.4\mu\text{m}$ のダイヤモンド砥粒とシリコンオイルを混合させ、1wt%に調整し使用した。工作物として直径22.7mm、厚さ0.3mmのサファイア基板を使用し、固形ワックス(日化精工社製)で研磨ヘッドに3枚貼り付けた。そして、サファイア基板を貼り付ける部分を1mm底上げし、工作物に電界を集中させることができるよう工夫し、新たにアルミ製にて専用研磨

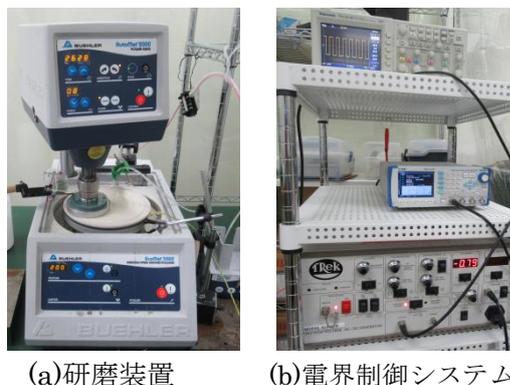


図4 実験装置

ヘッドを開発した。

なお、電界は電界制御システムによって研磨ヘッドと定盤間に与えられる。研磨時間は 30 分とし、研磨前後の質量差から除去量を求めた。

#### 4. 研究成果

##### (1) 電極形状の評価

図 5 は、無電界、および各電極形状におけるスラリー分布率を示す。スラリー分布率は、試料面積に対するスラリー分布面積の割合とした。なお、このときの実験条件は、研磨ヘッド回転数が 160rpm、電圧、周波数がそれぞれ 4kV、32Hz である。

図 5 より、無電界と比較してドーナツ型電極と個別電極で高いスラリー分布率を示した。一方、電界を印加したにもかかわらず、全面電極ではその効果がわずかであった。これらの結果より、電界を印加することによってスラリー分布率が向上するが、その効果は電極形状に依存することが分かった。

電界を研磨ヘッド全域に分布させるより、試料の配置部分に限定的な電界を分布させることによって、スラリー分布が拡大すると思われる。本結果より電界を効果的に与えるため、電極形状は個別型、およびドーナツ型が最適となるが、本研究では基板部分の砥粒分布を把握しやすい個別型を採用することにした。

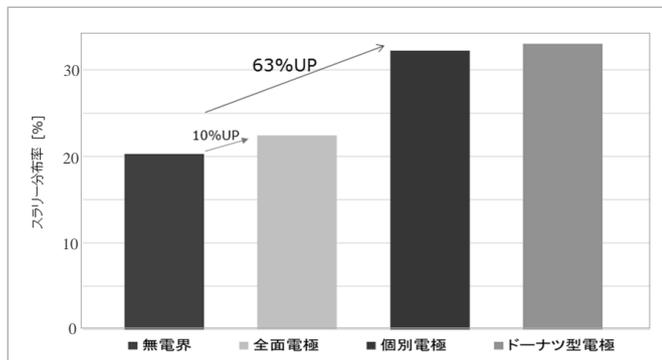


図 5 電極形状におけるスラリー分布率

##### (2) 電界下における砥粒濃度分布の評価

図 6 に周波数を 1Hz に固定したときの電圧と砥粒分布指数の関係を示す。これより電圧の増加に伴って砥粒分布指数は向上することが分かり、電界による吸引力が砥粒分布の拡大に影響を与えるといえる。ただし、印加電圧 2kV 付近までは、砥粒に作用する力は遠心力が支配的となり研磨領域の砥粒数がほぼ無電界と同等レベルで推移すると考えられる。2kV を超える範囲においては、電界による吸引力が少しずつ作用し始め砥粒数が増加するものと考えられる。

一方、図 7 は印加電圧を 4kV 一定としたときの周波数と砥粒分布指数の関係を示す。これより 1 Hz の電界を与えることによって無電界と比較し砥粒分布指数が約 10 倍に増加した。

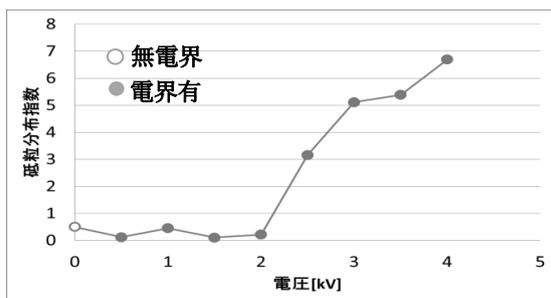


図 6 電圧と砥粒分布指数の関係

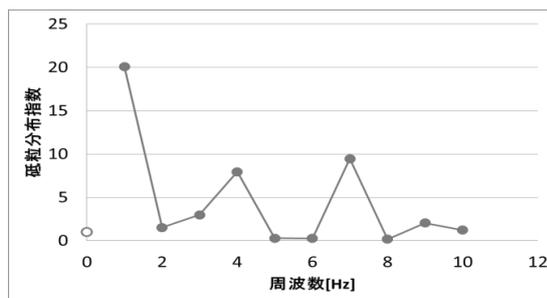


図 7 周波数と砥粒分布指数の関係

##### (3) オイルベーススラリーにおける研磨特性

図 8 はサファイア基板の研磨実験における電圧と除去量の関係を示す。本図より、2kV で除去量が最大値を示した。実験環境の相違によって、除去量が増加する電圧は図 6 とやや異なるが、特異の電圧で急激に増加する傾向は同等といえる。しかしながら、2kV を超える範囲では電圧の増加に伴って除去量が減少傾向を示す。これは研磨界面外周部にも電界が作用し、砥粒が研磨ヘッドに分散したためと考えられる。

一方、図 9 は印加電圧を 2kV に固定した時の周波数と除去量の関係を示す。本図より 1Hz、8Hz で除去量が高い値を示すことから、これらの周波数では電界による砥粒の飛散抑制効果が最大になったと考えられる。それに対し、3Hz、10Hz では除去量が無電界を下回った。これは工作物周辺のエッジ部分でクラスターが形成され、砥粒が研磨界面へ流入できない状態となったためと考えられる。

これらの結果より、電界条件における砥粒濃度分布指数と除去量の依存性を比較すると、それらの増減は両者で傾向が異なる部分が存在する。これは、研磨ヘッド構造の相違、回転速度の差などが起因するためであり、今後は可能な限り同等な構造、実験条件に統一していく必要がある。しかしながら、研磨界面からの砥粒の飛散抑制効果を高めて砥粒濃度を増加させることによって除去量を向上させる電界条件は、電圧 2kV、周波数 1Hz 付近に存在する可能性が高いことが本実験を通して明らかとなった。そして、その時の除去量は無電界に比べ約 20% 向上している。

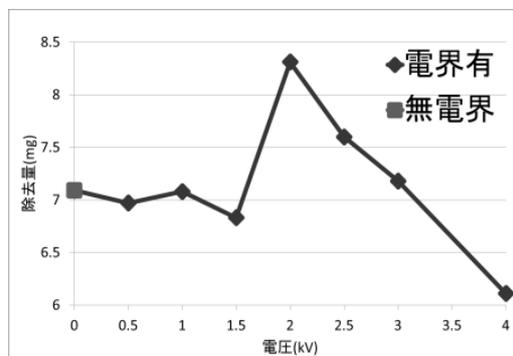


図 8 電圧と除去量の関係

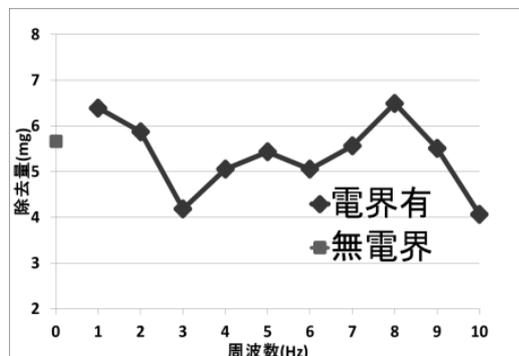


図 9 周波数と除去量の関係

#### <引用文献>

- [1] 岩室憲幸 (監修) : SiC パワーデバイスの開発と最新動向-普及に向けたデバイスプロセスと実践技術-, S&T 出版, (2012) pp.3-12
- [2] 谷泰弘, 河田研治:液体ボンド砥石を用いた高能率研磨法の開発, 日本機械学会論文集(C編), 51 巻, 471 号(1985) pp.3145-3148
- [3] 尹涛, 土肥俊郎, 黒河周平, 他 4 名:強酸化剤を添加したスラリーによる SiC ウエハの CMP 加工特性, 2012 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集 pp.85-86
- [4] 赤上陽一他 4 名 : 粒子分散型機能性流体を用いた精密研磨方法の開発, 日本機械学会論文集 C 編, 66 巻 649 号(2000), pp.270-275
- [5] 池田洋, 赤上陽一, 土肥俊郎, 他 3 名 : 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-電界がスラリー挙動とガラスの研磨特性に及ぼす影響-, 精密工学会誌, 77 巻 12 号(2011), pp.1146-1150

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

- ①久住孝幸, 池田洋, 越後谷 正見, 中村竜太, 赤上陽一, 研磨スラリーの電界活性化技術, 砥粒加工学会誌, 第 61 巻 5 号 pp.275~276, 査読有

[学会発表] (計 1 2 件)

- ①大橋儀宗, 池田 洋, 久住孝幸, 越後谷正美, 赤上陽一, 電界スラリー制御システムを導入した Si ウエハの高効率 CMP 技術, 第 49 回学生会員卒業研究発表講演会, 2019/3/5
- ②大橋 儀宗, 原田 響, 池田 洋, 久住 孝幸, 越後谷 正美, 赤上 陽一, 電界スラリー制御技術を適用した Si ウエハ向け小型片面研磨装置の研磨特性, 2018 年度精密工学会東北支部講演会講演会, 2018/11/24
- ③池田 洋, 泉 泰秀, 久住孝幸, 赤上陽一, 電界スラリー制御技術における電界条件と SiC 基板の研磨特性との関係, 第 12 回生産加工・工作機械部門講演会, 2018/10/13
- ④池田 洋, 原田 響, 久住孝幸, 越後谷正美, 赤上陽一, 小型片面研磨装置向け電界スラリー制御システムの開発, 2018 年度砥粒加工学会学術講演会, 2018/8/31
- ⑤池田 洋, 泉 泰秀, 久住孝幸, 中村竜太, 赤上陽一, 電界印加条件がスラリー分布と SiC 基板の研磨特性に及ぼす影響, 2018 年度精密工学会秋季学術講演会, 2018/9/5

⑥池田洋, 久住孝幸, 中村竜太, 赤上陽一, 電界制御技術を導入した高効率 CMP 技術の研磨特性, 日本機械学会 東北支部 第 53 期秋季講演会, 2017/9/30

⑦池田洋, 久住孝幸, 中村竜太, 赤上陽一, 電界スラリー制御技術を適用した SiC 基板の研磨特性, 2017 年度砥粒加工学会学術講演会, 2017/8/31

⑧泉 泰秀, 池田 洋, 久住孝幸, 中村竜太, 赤上陽一, 電界スラリー制御技術を適用した高効率 CMP 技術の開発, 東北学生会第 47 会学生員卒業研究発表講演会, 2017/3/8

⑨久住孝幸, 池田 洋, 中村竜太, 赤上陽一, 電界ラッピング技術における研磨砥粒挙動の基礎検討, 日本機械学会第 11 回生産加工・工作機械部門講演会, 2016/10/23

⑩久住孝幸, 池田洋, 中村竜太, 赤上陽一, 松下大作, 照井伸太郎, 新たな酸化セリウム砥粒再生技術及び再生装置の開 (第 3 報), 2016 年度精密工学会秋季学術講演会, 2016/9/7

⑪久住 孝幸, 池田 洋, 越後谷正見, 中村 竜太, 赤上 陽一, 研磨スラリーの電界活性化技術, 2016 年度砥粒加工学会学術講演会, 2016/9/2

⑫池田 洋, 羽柴 麗, 藤井優和, 泉 泰秀, 久住孝幸, 中村竜太, 赤上陽一, 電界スラリー制御技術を適用した高効率 CMP 技術の開発, 2016 年度砥粒加工学会学術講演会, 2016/9/2

[図書] (計 1 件)

①池田洋, 久住孝幸, 中村竜太, 赤上陽一, 電界援用による電子材料向け高効率 CMP 技術, 月刊トライボロジー 2017 年 11 月号, 新樹社

[その他]

①研究室紹介 No.77 「秋田工業高等専門学校 池田研究室紹介」, 月刊トライボロジー2018 年 1 月号, 新樹社

## 6. 研究組織

### (1)研究協力者

研究協力者氏名 : 赤上 陽一  
ローマ字氏名 : AKAGAMI , yoichi

研究協力者氏名 : 久住 孝幸  
ローマ字氏名 : KUSUMI , takayuki

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。