

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2008～2010

課題番号：20246033

研究課題名 密閉雰囲気内で行う光触媒反応と電解作用の援用型特殊加工装置の開発とその特性

研究課題名(英文) Development of a new Chemical Mechanical Polishing (CMP) machine, assisted by the photocatalytic reactions and electrolytic actions in the atmosphere controlled sealed CMP chamber

研究代表者

土肥 俊郎 (DOI TOSHIRO)

九州大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：30207675

研究成果の概要(和文)：

これまでのCMP(Chemical Mechanical Polishing)特性・メカニズムを踏まえて、ユニークな密閉式の両面同時ベルジャー(チャンバー)型CMP装置を設計・試作した。その結果、高圧酸素雰囲気の密閉ベルジャー内で、紫外線を照射しつつ光触媒反応を援用した高効率CMP法と両面同時加工法の革新的融合装置を実現した。とくに難加工材料のSiC基板については、従来加工法の4.5倍の加工能率が得られ脚光を浴びている。

研究成果の概要(英文)：

Based on the characteristics and mechanism of CMP (Chemical Mechanical Polishing) obtained through the experiments, we have designed and manufactured a prototype of a sealed, bell-jar shaped, both-side simultaneous CMP machine. This innovative machine, assisted by the photocatalytic reactions inside the sealed Bell-Jar chamber while ultra-violet being applied, has realized integration of high efficiency CMP and both-side simultaneous polishing into one machine. This integrated machine provides 4.5 times higher polishing efficiency with hard-to-process SiC wafers than that of the conventional machine, and consequently, is drawing attentions from the industries as next generation CMP machine.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	11,100,000	3,330,000	14,430,000
2009年度	9,900,000	2,970,000	12,870,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	22,100,000	6,630,000	28,730,000

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 5002

キーワード：CMP, 密閉型加工, 密閉雰囲気, 光触媒反応, Si, SiC, 加工レート,

## 1. 研究開始当初の背景

半導体材料の仕上げ加工の主流となっている CMP (Chemical Mechanical Polishing) の加工形態は、Chemical 要素が含むにもかかわらず、加工環境・雰囲気を全くコントロールされておらず、所謂”むき出し型のCMP”である。そのため、不安定な加工特性になりがちであり、高能率の効果的加工条件設定に限界がある。報告者はここに問題があると考え、加工雰囲気を厳密に勘案した上で CMP 加工部の全体を高耐圧容器で密閉して、いろいろな雰囲気加工をする新しい加工方法”ベルジャー密閉型雰囲気環境コントロール式 CMP 装置”を提案し、これまでのポリシング特性とまったく異なる特異な特性が得られることを発見した。

一方、シリコンウエハに代表されるように、半導体などの結晶材料は、超精密平滑表面に仕上げること大前提となり高能率に加工することが要求される。とくに、サファイア、SiC、GaN などの結晶材料は、高周波・パワーデバイス、LED などに適用される先端的なデバイス用基板として脚光を浴びている。しかしながら、これらの結晶基板は、突出した優れたデバイス性能が得られることが分かっているにもかかわらず、機械的、化学的に極めて安定している難加工材料である。そのために、従来の加工技術では高能率・高品位加工が困難であり、何らかのブレークスルーが切望されている。

## 2. 研究の目的

本研究では、難加工材料にも対処し得るこれまでにないユニークな考え方を取り入れた高能率・高品位加工装置を提案し、生産現場で適用できる密閉雰囲気で行う両面同時加工装置を試作する。そして、現在脚光を浴びている半導体基板などの高能率で超精密加工する条件を検討するものである。

## 3. 研究の方法

考案した加工部を密閉したベルジャー(チャンバー)型 CMP 装置を基に、さらに進化させて新しい概念の加工方法を提案・設計していく。設計試作する装置のポイントは、ベルジャー(チャンバー)密閉型、高圧ガス雰囲気と減圧雰囲気、光触媒反応の援用、両面同時加工

をキーワードとする。この試作装置を適用して、詳細実験を通じてその効果を確認して次世代型加工方法として世の中に提案する。

## 4. 研究成果

考案・試作した密閉型 CMP 装置は、加工部の雰囲気をコントロールすべく加工装置全体をベルジャー(チャンバー)で密閉した中で CMP を行うベルジャー型ポリシング装置を基本とする。

加工環境をコントロールしたチャンバー内で光触媒反応援用するこの CMP 装置は、実際の基板材料の平行平面を高精度に加工するために両面同時加工方式を念頭に開発する。そして、Si 結晶基板を基本に加工メカニズムを追究しつつ、サファイア、SiC、GaN などに代表される難加工性の各種機能性材料の CMP に挑戦し加工特性を把握・確認する。

### (1)ベルジャー密閉型加工雰囲気

コントロール式 CMP 装置の設計・試作開発した装置は図 1 に示すように、ベルジャーと呼ばれる耐圧(-100~+1000kPa)密閉チャンバー(ステンレス製)内に研磨機構を擁し、加工部の雰囲気(気種・気圧等)を制御することができる。高能率・高品位な研磨能力を確保するために両面同時加工を可能とする装置の運動機構は、上下の定盤が互いに逆向きに回転し、その間に挟まれたウエハキャリアが小円揺動運動(偏心揺動運動、強制駆動)をする 3 モーションタイプとしている。



図 1 設計したベルジャー密閉型両面同時 CMP 装置の内部構造と運動形態を示す模式図

装置には、スラリータンク、各種ガスシリンダーの他、紫外線や赤外線照射用の石英ガラス窓、気圧計、温度計等を備えている。

開発したベルジャー密閉型（加工雰囲気コントロール式）両面同時 CMP 装置の基本仕様を表 1 に、完成した外観写真を図 2 に、それぞれ示す。

表 1 設計・試作したベルジャー密閉型両面同時 CMP 装置の基本仕様

Foot print	800 <sup>W</sup> x 1170 <sup>D</sup> x 1100 <sup>H</sup>
Upper/lower platen Material: Size: Rotational speed:	Stainless steel □150 mm 10~100 min <sup>-1</sup>
Size of workpiece	~□100 mm
Processing pressure	Deadweight method
Wafer carrier size: motion speed	□237 mm 3~30 min <sup>-1</sup>
Means of supplying slurry	Circulation method
Inner gas pressure	-0.1~1 MPa (Gauge)
Usable gas	Air, O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , Ar,...



図 2 完成したベルジャー密閉型両面同時 CMP 装置の外観写真

## (2)開発装置の運動解析

この装置の運動は複雑なため、上下の定盤がウエハに対してどのような軌跡にすべきか運動解析を行った。まず、装置の運動を静止系から見た場合、上下定盤およびキャリア上の任意の点の運動に着目した。キャリア上の任意点はキャリア中心点の位置座標とのベクトルの和で表される。これをキャリアの視点、すなわちキャリア系に式変形すると上下の定盤は回転運動に揺動運動の項が加わる。解析には function view という関数表示ソフトを使用し、上下のパッドの任意半径上に観察点を等間隔に 15 点を取り、パッド上に保持された砥粒がウエハに対してどのような相対運動をするのかを解析した結果、以下のように設計・試作する装置の基本的運動の設定条件が明らかとなった。

一定方向に回転している定盤に対してキャリアが小円揺動運動をすることで、表裏でこのような軌跡が得られた。一例として、上下定盤および小円運動速度が 100・100・15rpm の時、ウエハ保持部周辺で軌跡がほぼ均一に分布していることと、パッドの中央から外周部に至るまで連続的に使用できることが確認できた。この解析結果を基本にして、以下、加工条件を設定して加工実験を試みた。

## (3)設計試作した装置による各種基板の加工特性

シリコン (Si) 基板をはじめ、現在注目されている機能性材料基板の高効率・高品位加工を目指して、加工メカニズムを追究しつつ各種基板の CMP について検討した。ここでは、一例として Si と難加工材料の SiC 基板の加工特性について紹介する。

### ①Si-CMP における圧力ガスの雰囲気の影響

雰囲気と加工レートの関係の一例を図 3 に示す。低速・低加工圧である条件下では加工レートは 150nm/min 前後であり、異なる雰囲気間でほとんど差はない。しかし、高速・高加工圧では負(-80kPa)にすると加工レートは減少し、Air 圧+500kPa にすると加工レートは増加する。

気体の種類を O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, Ar に変更すると、例えば高圧酸素ガス中で約 900nm/min の加工レートを示し、常圧大気中での値に対する割合(約 1.3 倍)が最大となる。高圧酸素ガス中で加工した後のウエハ表面を観察すると、他のガス中で研磨したものよりも濡れ性が増加しているため、ウエハの浸漬実験を行ったところ、酸素雰囲気中で浸漬したウエハの表面には酸化物が形成されていることを確認した。これはスラリー中の溶存酸素

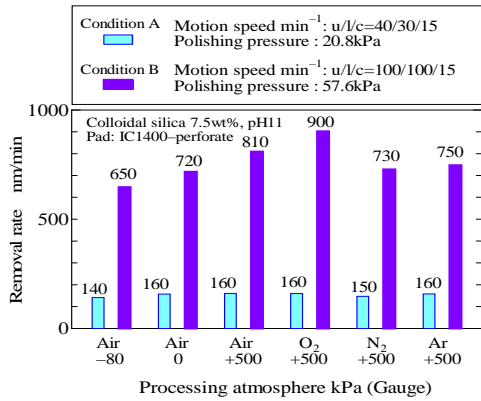


図3 各種雰囲気ガスによるSi基板の加工レートの比較

(Dissolved Oxygen, DO) により Si ウエハ表面が酸化され、酸化反応が加工に重要な役割を果たしていることを示すものである。すなわち、高圧 O<sub>2</sub> ガス中でスラリーを循環させることでスラリー中に O<sub>2</sub> が過飽和に溶解込み、加工部で発生する摩擦熱やメカノケミカル反応等によりウエハ表面に薄い酸化膜 (SiO や SiO<sub>2</sub>) が形成される。この薄い酸化膜は水和反応によるもので、形成された水和反応膜は、パッドと砥粒の機械的作用により速やかに除去され、加工レートの増大に大きな役割を果たすものと判断された。

② SiC-CMP における各種高圧ガスの影響 — 光触媒反応の効果 —

SiC (Si 面の場合) は化学活性が低い物質であるが、極表面が酸化反応により SiO<sub>2</sub> と CO<sub>2</sub> に分解する研磨モデルを想定し、O<sub>2</sub> を含むガスの酸化力は有効であると考えた。2つのモーション速度条件 A' (u/l/c=50/50/15), B' (u/l/c=100/100/15) の下で各種高圧ガス雰囲気下における SiC の加工レートを調査した。その結果の一例を図4に示す。条件 A' では常圧大気中の加工レートに対する比は高圧 Air, 高圧 O<sub>2</sub> でそれぞれ 2.5, 3.0 となった。一方、

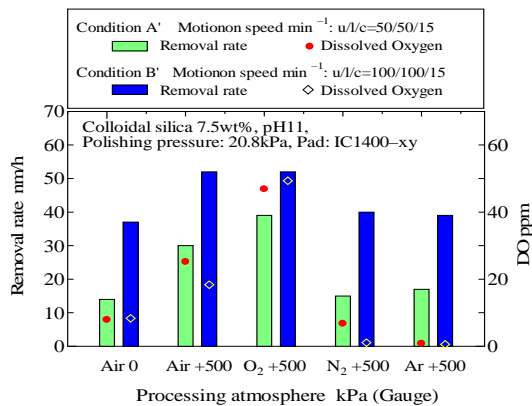


図4 各種ガス雰囲気中で行ったときのSiCの加工レートと溶存酸素(DO)の比較

条件 B' では常圧大気中の加工レートに対する比は高圧 Air, 高圧 O<sub>2</sub> の両者ともに 1.4 となった。実験後のスラリー中の DO を測定したところ、高圧酸素ガス雰囲気中では定圧大気中の約 6 倍の値を示した。

これらの現象から、スラリー中に溶解込んだ溶存 O<sub>2</sub> と研磨による摩擦熱でウエハ表面が酸化して SiO<sub>2</sub> が形成され、これがパッドやシリカ砥粒で除去され、加工が進行する基本メカニズムであるものと考えられる。

さらに、スラリーに酸化チタン粒子(アナターゼ型、粒径 50nm 以下)を添加し、酸素雰囲気下で光触媒反応を援用することで加工の高能率化をねらった。まず、パッド上に紫外線 (UV) を照射するために片面 (Si 面) のみの加工でその効果を確認した。その結果を図5に示す。常圧大気中ではパッド上のスラリーに UV を照射しても加工レートに差は現れなかったが、高圧酸素雰囲気中では DO 値がほぼ同じであるにもかかわらず照射しない場合に比べて約 1.3 倍になっている。これはスラリー中の溶存酸素以外に、パッド上で光触媒反応により酸素の活性化学種 (OH ラジカルなど) が生成しウエハの加工が促進したことを示唆する。すなわち、光触媒反応が SiC の研磨に有効であることを示している。

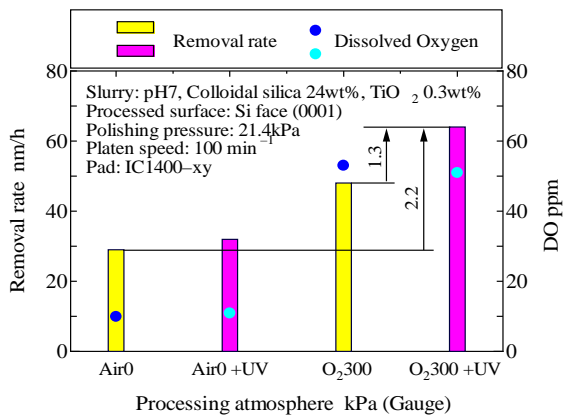


図5 SiC基板の酸素雰囲気における紫外線(UV)照射の有無による加工レート(UVの効果)

しかしながら、両面同時加工装置でも紫外線照射による光触媒反応の効果も併せて検討したところ、その効果は僅少であることが判明した。今後は両面同時 CMP にも UV の照射方法を工夫することで対応していく。

以上、加工レートに着目して検討した事例を紹介したが、加工面品位は通常の CMP と同等であることを確認している。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (査読付き) (計 2 件)

① T.Doi, T.Yamazaki, S.Kurokawa, Y.Umezaki, O.Ohnishi, Y.Akagami, Y.Yamaguchi, S.Kishii : Polishing/CMP for Glass Substrates in a Radical Polishing Environment, Using Manganese Oxide Slurry as an Alternative for Ceria Slurry, Advances in Science and Technology, Vol.64 (2010), pp.65-70

② K.Kitamura, T.Doi, S.Kurokawa, Y.Umezaki, Y.Matsukawa, Y.Ooki, T.Hasegawa, I.Koshiyama, K.Ichikawa, and Y.Nakamura : Basic Characteristics of a Simultaneous Double-side CMP Machine, Housed in a Sealed, Pressure-Resistance Container, Key Engineering Materials, Vols.447-448(2010), pp.61-65

(付記：その他，現在投稿中の論文 2 件)

[学会発表] (計 17 件)

—国際会議—

① T.Hasegawa, T.Doi, S.Kurokawa, O.Ohnishi, T.Yamazaki, Y.Kawase, Y.Yamaguchi, and S.Kishi : Chemical Mechanical Polishing (CMP) of Silicon Carbide (SiC) with Manganese Oxide Slurry ---Polishing Characteristics under High Pressure Gas Atmosphere Inside the Bell-Jar (Chamber) Shaped CMP Machine---, International Conference on Planarization/CMP Technology 2010, 11月14~17日, Phoenix, Arizona (USA)

② K.Kitamura, T.Doi, S.Kurokawa, O.Ohnishi, Y.Umezaki, T.Yamazaki, Y.Matsukawa, T.Hasegawa, I.Koshiyama, K.Ichikawa : Characteristics of Silicon CMP Performed in Various High Pressure Atmospheres ---Development of a New Double-side Simultaneous CMP Machine Housed in a High Pressure Chamber---, Advanced Metallization Conference 2010, 10月19~22日, 東京大学(東京)

③ T.Hasegawa, T.Doi, S.Kurokawa, O.Ohnishi, Y.Kawase, Y.Yamaguchi, and S.Kishii : SiC-CMP Characteristics under High Pressure Gas Atmospheres using Manganese Slurry, Advanced Metallization Conference 2010, 10月19~22日, 東京大学(東京)

④ K.Kitamura, T.Doi, S.Kurokawa, O.Ohnishi, Y.Umezaki, T.Yamazaki, Y.Matsukawa, T.Hasegawa, I.Koshiyama, K.Ichikawa : Characteristics of Silicon CMP performed in various high pressure atmospheres ---Development of a new double-side simultaneous CMP machine housed in a high pressure chamber, Advanced Metallization Conference 2010: 20<sup>th</sup> Asian Session), 10月19~22日, 東京大学(東京)

⑤ T.Hasegawa, T.Doi, S.Kurokawa, O.Ohnishi, Y.Kawase, Y.Yamaguchi, S.Kishii : SiC-CMP characteristics under high pressure gas atmospheres using manganese slurry, Advanced Metallization Conference 2010, 10月19~22日, 東京大学(東京)

⑥ T.Doi, T.Yamazaki, S.Kurokawa, Y.Umezaki, O.Ohnishi, Y.Akagami, Y.Yamaguchi, S.Kishii : Study on the Development of Resource-Saving High Performance Slurry - Polishing/CMP for glass substrates in a radical polishing environment, using manganese oxide slurry as an alternative for ceria slurry -, CIMTEC2011 (12th International Ceramics Congress, 2010年6月6~18日, Montecatine Terme, Italy)

⑦ T.Doi and S.Kurokawa : CMP of SiC Wafers as a Post-Si Power-Device (Bell-Jar shaped CMP machine assisted by photocatalytic reactions under high pressure oxygen gas and CMP characteristics of functional material, The 1st International Conference on Surface and Interface Fabrication Technologies (ICSIF), 2009年7月16~17日, (独)理化学研究所(埼玉)

⑧ T.Doi, and S.Kurokawa : CMP of SiC Wafers as a Post-Si Power-Device ---Photocatalytic Reaction Assisted Bell-Jar shaped CMP Machine under High Pressure Oxygen Gas---, International Conference on Planarization/CMP Technology 2008, 11月26~28日, Congress Center, 浜松(静岡)

⑨ T.Kihara, T.Doi, S.Kurokawa, Y.Ooki, Y.Umezaki, Y.Matsukawa, K.Ichikawa, I.Koshiyama, and H.Kohno : Si CMP with a Sealed "Bell-Jar" Type CMP Machine ---Proc. Characteristics of Si-CMP, Influenced by the Processing Atmosphere and Additives Dispersed in the Slurry---, The 5<sup>th</sup> International Symposium on Advanced Science and Technology of Silicon Materials, 2008年11月10~14日, Kona, Hawaii (USA)

一国内会議一

- ⑩ 長谷川正, 土肥俊郎, 黒河周平, 大西修, 河瀬康弘, 尹涛, 山崎努, 岸井貞浩: 酸化マンガン系スラリーを用いた SiC 単結晶基板の精密加工プロセスに関する研究—密閉型加工環境コントロール CMP 装置による加工—, 日本機械学会九州支部講演会, 2011年3月17日、九州大学(福岡)
- ⑪ 尹涛, 土肥俊郎, 黒河周平, 大西修, 山崎努, 北村圭, 長谷川正: 加工環境を制御した CMP 装置による SiC ウエハの高効率加工に関する研究—コロイダルシリカとダイヤモンド微粒子スラリーを用いた加工特性—, 日本機械学会九州支部講演会, 2011年3月17日、九州大学(福岡)
- ⑫ 北村圭, 土肥俊郎, 黒河周平, 大西修, 尹涛, 長谷川正, 越山勇, 市川浩一郎: 密閉耐圧チャンバー型両面同時 CMP 装置の開発—各種加工雰囲気下での Si および SiC ウエハの CMP 特性と光触媒援用 CMP の可能性について—, 日本機械学会九州支部講演会, 2011年3月17日、九州大学(福岡)
- ⑬ 長谷川正, 土肥俊郎, 黒河周平, 大西修, 山崎努, 尹涛, 河瀬康弘, 山口靖英, 岸井貞浩: 酸化マンガン系スラリーを用いた SiC 単結晶基板の精密加工—密閉型加工環境コントロール CMP 装置による加工特性—, 2011年度精密工学会春季大会学術講演会, 2011年3月14~16日、東洋大学(東京)
- ⑭ 江頭峻輝, 土肥俊郎, 黒河周平, 大西修, 山崎努: 耐圧密閉チャンバー型 CMP 装置を用いた加工環境制御下における加工特性, 日本機械学会九州学生会第42回卒業研究発表講演会, 2011年3月11日、大分工業高等専門学校(大分)
- ⑮ 長谷川正, 土肥俊郎, 黒河周平, 大西修, 河瀬康弘, 山口靖英, 岸井貞浩: SiC 単結晶基板の酸化マンガン系スラリーによる精密加工プロセスに関する研究, 2010年度精密工学会九州支部熊本地方講演会、2010年12月11日、熊本大学(熊本)
- ⑯ 山崎努, 土肥俊郎, 黒河周平, 大西修, 梅崎洋二, 松川洋二, 山口靖英, 岸井貞浩: ガラス基板の研磨とラジカル環境場の効果—酸化セリウム系スラリーと酸化マンガン系スラリーによる CMP 特性—, 2010年度精密工学会秋季大会学術講演会, 2010年9月27~29日、名古屋大学(名古屋)
- ⑰ 長谷川正, 土肥俊郎, 黒河周平, 大西修, 梅崎洋二, 山崎努, 北村圭, 河瀬康弘, 岸井貞浩: 4酸化マンガン系スラリーを用いた SiC 基板の精密加工プロセスに関する研究—

ベルジャー型加工機を用いた各種加工雰囲気, 2010年度精密工学会秋季大会学術講演会, 2010年9月27~29日、名古屋大学(名古屋)

〔図書〕(計5件)

- ① 土肥俊郎, 黒河周平, 大西修, 山崎努: 超精密研磨/CMP 技術とその最新動向(その1)—研磨の発展経緯と加工原理—, トライボロジスト(2010), 第55巻第11号, pp85~88
- ② 土肥俊郎, 黒河周平, 大西修, 山崎努: 超精密研磨/CMP 技術とその最新動向(その—最新の CMP 技術とトライボケミカル応用—, トライボロジスト(2010), 第55巻第11号 809~813頁
- ③ 土肥俊郎: 高圧酸素環境場で光触媒反応を重畳させた革新的加工法—密閉式ベルジャー型 CMP 装置—, 日本機械学会誌, 113, 1104(2010), p896
- ④ 土肥俊郎, 黒河周平, 梅崎洋二: ものづくりのイノベーションとそのサステナビリティを目指して, 精密工学会誌(2009), 第75巻, 第6号, pp.708-709
- ⑤ 土肥俊郎, 黒河周平: 平坦化 CMP 装置, 電子材料, 12月号別冊 超 LSI 製造・試験装置ガイドブック(2008), p.127-135

6. 研究組織

(1)研究代表者

土肥俊郎 (DOI TOSHIRO)  
九州大学・大学院工学研究院・教授  
研究者番号: 30207675

(2)研究分担者

黒河周平 (KUROKAWA SYUHEI)  
九州大学・大学院工学研究院・准教授  
研究者番号: 90243899

梅崎洋二 (UMEZAKI YOJI)  
九州大学・大学院工学研究院・助教  
研究者番号: 70038066