

薄片状シリカ EPD ペレットによるシリコンウエハの研削特性*

澁谷 秀雄*¹, 深澤 隆*², 不破 徳人*²
池野 順一*³, 鈴木 浩文*¹, 堀内 幸*¹

Grinding Performance of Thin-Plate Silica EPD Pellet to Silicon Wafer

Hideo SHIBUTANI*⁴, Takashi FUKAZAWA, Naruto FUWA,
Jun-ichi IKENO, Hirofumi SUZUKI and Osamu HORIUCHI*⁴ Department of Production Systems Engineering, Toyohashi University of Technology,
1-1 Hibarigaoka, Tempaku-cho, Toyohashi-shi, Aichi, 441-8580 Japan

Grinding performance of fine abrasive grinding wheel to silicon wafer were investigated. In this study, thin-plate silica powder, tens μm in length and $1\mu\text{m}$ in width, were applied as a abrasive for grinding wheel. The grinding wheel were fabricated using a electrophoretic deposition phenomenon, it was called "EPD pellet", and thin-plate silica abrasives could be arranged in a one-way direction in the EPD pellet. Grinding efficiency of thin-plate silica EPD pellet was twice as high as a conventional EPD pellet which was consist of spherical silica abrasive. Warp of thin-wafer, $150\mu\text{m}$ in thickness ground by diamond wheel, were decreased with the progress of EPD grinding. This result shows that a residual strain by a diamond wheel could be removed by EPD grinding.

Key Words: Ultra-Precision Machining, Grinding, Abrasive Grain, Grinding Wheel, Silicon Wafer, Mirror Grinding, Electrophoretic Deposition, EPD, Silica Fine Abrasive, Thin-Plate Silica Powder

1. 緒言

本研究グループではシリカ微粒子を砥粒に用いた EPD (ElectroPhoretic Deposition) ペレットを作製し、シリコンウエハの鏡面研削に関する研究を行ってきた。これまでに8インチシリコンウエハの研削実験を行い、乾式でスクラッチのない鏡面が容易に得られることを明らかにしてきた⁽¹⁾。しかしながら、その研削能率は非常に低く、実用化を目指す上で大きな問題となることが予想される。

一方、シリカ粒子は製法により球状だけでなく薄片状にも作製することが可能である。もし、図1に示すように、これを砥粒として砥石中に規則的に配列することができれば、球状シリカの場合と比較して以下の点で優位である。

- 1) 砥石作用面におけるシリカの接触面積が大きくなり、砥粒作用数が増える。
- 2) 砥粒であるシリカの保持強度がより強固になる。
- 3) 砥粒・被加工物間の接触面積の経時変化がほとんどなく、安定した研削が行える。

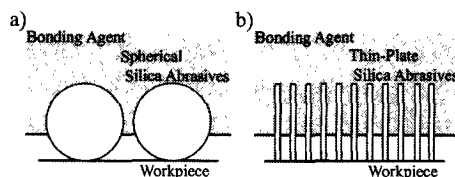


Fig.1 Grinding image of a) Ordinary and b) New EPD pellet すなわち、薄片状シリカを砥石中で規則的に配列することができれば、より高能率な研削が期待できる。しかしながら、この薄片状シリカ砥粒を砥石として用いた実績はなく、シリコンウエハの鏡面研削ができるかは不明である。

そこで本研究では、薄片状シリカが規則的に配列したシリコンウエハ用鏡面研削砥石を試作し、その研削性能を明らかにすることを目的とした。

2. 砥粒が規則的に配列した砥石の作製

2. 1 砥粒および結合剤

本研究では、砥粒として図2に示すような長さ数十 μm ・厚さ約 $1\mu\text{m}$ の微細な薄片状凝集シリカ粉末(朝日化学工業(株)・ケミセレン)を用いた。この薄片状凝集シリカは、数十nmのシリカ超微粒子を板状に凝集させた後に熱処理を行い、その後機械的に粉碎したものである。

一方、結合剤にはアルギン酸ナトリウム(㈱紀文フードケミファ・ダックアルギン)を用いることに

* 原稿受付 2002年1月18日。

*¹ 正員、豊橋技術科学大学生産システム工学系(☎441-8580 豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)。*² 豊橋技術科学大学大学院工学研究科生産システム工学専攻。*³ 正員、埼玉大学大学院理工学研究科(☎338-8570 さいたま市下大久保255)。

E-mail: shibutani@tutpse.tut.ac.jp



Fig.2 SEM image of thin-plate silica powder

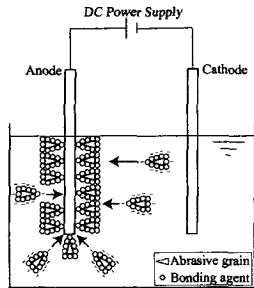


Fig.3 Fabrication method of EPD pellets

した。これは、今までにEPDペレットに用いられ、8インチシリコンウエハの鏡面研削に適していることが分かっている⁽²⁾。さらに、アルギン酸ナトリウムは海藻類から抽出される食品であり、環境に優しい高分子である。

2. 2 砥石の作製方法

砥粒は微細であり、これを機械的な方法で規則的に配列させることは困難である。そこで、本研究では電気泳動現象を利用して規則的に配列させることを試みた。

砥粒であるシリカ粒子、結合剤であるアルギン酸ナトリウム、および純水を混合すると、その混合液中でシリカ粒子は帯電し、高分子電解質であるアルギン酸ナトリウムは保護コロイドとして帯電粒子に吸着する。この混合液中で電場を与えると液中の帯電粒子は電気泳動現象により陽極に引き寄せられ、砥粒密度が高い吸着層が形成できる⁽³⁾。ここで、吸着層を形成する粒子は、個々の粒子中で最も電流密度の高い部分を先頭に電極へ引き寄せられる。したがって、薄片状シリカでは図3に示すようにエッジ部分を先頭に電極へ引き寄せられるため、砥粒を一方向に配列させることが期待できる。

表1にEPDペレットの作製条件を示す。純水中に20mass%薄片状シリカと3mass%アルギン酸ナトリウムを混合し、印加電圧10Vで30分間泳動させる。その後、陽極に形成された吸着層を適度な大きさに切断し、室温にて24時間自然乾燥させることによ

Table 1 Fabrication condition of EPD pellet

Composition	Thin-Plate Silica	Sodium Alginate	Pure Water
	20mass%	3mass%	bal.
Applied Voltage	10V		
Deposition Time	30min		

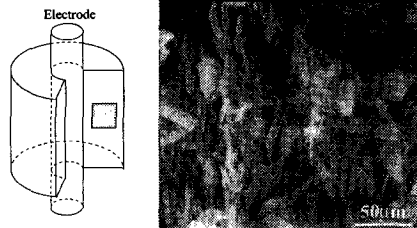


Fig.4 Cross section of EPD pellet

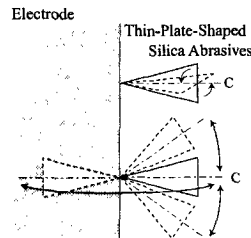


Fig.5 Deposition condition of the thin-plate silica abrasive

り、中空円筒状のペレットとした。

2. 3 薄片状シリカの吸着特性

薄片状シリカの吸着状態を確認するため、作製したペレット断面部のSEM観察を行った。

図4に観察結果を示す。これにより、薄片状シリカは期待に反して不規則な方向で吸着していることが分かった。これは、次のようなことが原因であると考えられる。電気泳動現象により電極にエッジ部分を先頭に引き寄せられた薄片状シリカは、図5に示すとおりエッジを通る軸Cを中心に360度自由な方向で吸着する。また、吸着したシリカにはその姿勢を保持する拘束力がないため、新たに吸着するシリカとの干渉によって軸Cを中心に回転したり、軸C自体も傾いてしまう。このように、吸着したシリカの姿勢は容易に変化するため、吸着の進行とともに徐々に互いに干渉して配列が乱れていき、規則的な配列を保てなくなった。この推測より、薄片状シリカを規則的に配列するには電気泳動と別の作用を併用させる必要があると考えられる。

2. 4 流体抵抗を併用した砥石作製方法

エッジ部分を先頭に引き寄せられた薄片状シリカが吸着する際、陽極棒が回転していれば図6に示

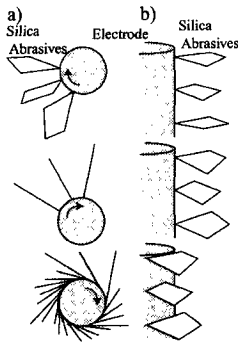


Fig.6 Deposition direction of silica abrasive with rotating of electrode, a) Top and b) Side view.

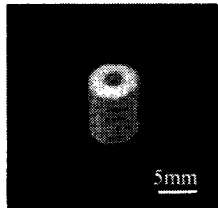


Fig.7 Appearance of EPD pellet

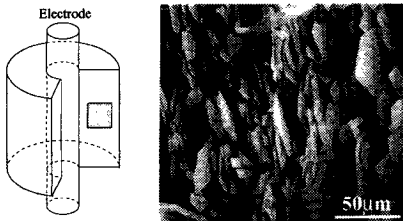


Fig.8 Cross section of EPD pellet with rotating of electrode

すように混合液の流体抵抗によりシリカが電極表面に押し倒され、シリカの長手方向と陽極棒の接線方向が一致するように吸着する。吸着したシリカは陽極棒と2点以上で接しており、その吸着姿勢は安定している。そのため、薄片状シリカは吸着の進行とともに互いに干渉して配列が乱れることなく、規則的に配列できると考えられる。そこで、陽極棒を回転させた状態でペレットの作製を試みた。

作製したペレットの外観を図7に示す。EPDペレットは外径 $d=7\text{mm}$ ・高さ $l=10\text{mm}$ であった。また、砥石断面部のSEM観察結果を図8に示す。個々の薄片状シリカ砥粒はその長手方向が陽極棒の接線方向と一致するように吸着しており、推察したとおり方向性が得られていることが分かった。

3. 研削実験

3.1 研削装置および被加工物

超精密立形平面研削盤 (株)日進機械製作所・VPG-

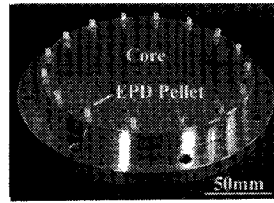


Fig.9 Cup-type wheel using EPD grinding

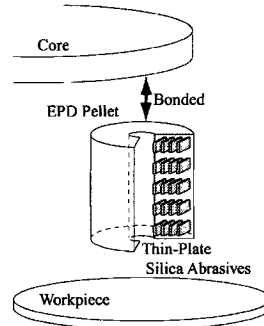


Fig.10 Bonded direction of Thin-Plate EPD pellet

1A)を用いて研削実験を行った。本研削盤の主軸および回転テーブル軸には油静圧軸受を用いており、砥石の送り軸には力操作型リニアアクチュエータが用いられている。これにより砥石軸とテーブル軸のループ剛性は $150\text{N}/\mu\text{m}$ となり、一般に市販されている超精密研削盤の2倍以上の高い剛性を有している。一方、砥石軸方向の最小移動単位は 10nm であり、最小切り込み速度は $1\mu\text{m}/\text{min}$ と高精度を実現している⁽⁴⁾。

被加工物には研削性能を正確に把握するため、あらかじめ両面ポリッシュされた歪みのない8インチ単結晶シリコンウエハを用いた。前加工として#2000ビトリファイドボンダダイヤモンドホイールにてその片面を研削し、表面粗さを 53nmRa にした。

3.2 EPD 研削条件

図9に示すように、作製したEPDペレットは直径200mmの砥石台金円周上に16個等間隔に貼り付け、カップ形砥石として用いた。この際、図10に示すとおり、薄片状シリカ砥粒の横断面が被加工面に接触するように貼り付けた。

図11に加工部の様子を示す。また、表2に研削条件を示す。EPD研削では、砥石台金に貼り付けたEPDペレットが加工時にシリコンウエハの中心を通るインフィード研削とした。なお、研削液は使用せず、環境に優しい乾式雰囲気下で実験を行った。

研削工程は、 $10\mu\text{m}/\text{min}$ の砥石送り速度で $10\mu\text{m}$ 切

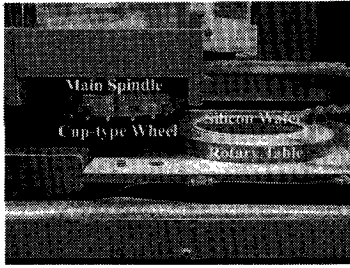


Fig.11 Working area of grinding machine

Table 2 Grinding condition

Grinding method	Infeed grinding
Grinding fluid	Non
Revolution of grinding wheel	1500rpm
Revolution of work table	50rpm
Infeed rate	10 μ m/min
Depth of cut	10 μ m/pass
Spark-out time	1min

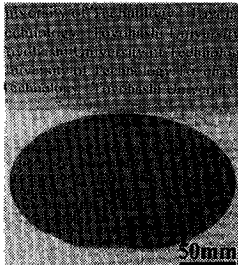


Fig.12 Appearance of Si wafer after EPD grinding

り込んだ後、1分間のスパークアウトを行った。その後、砥石は退避動作に入った。この一連の流れを1パスとし、最高90パスまで加工を行った。

4. 研削性能評価

本研削実験に対して、研削面の外観、表面粗さ、研削比、加工歪を調査し、試作した砥石の性能評価を行った。

4. 1 研削されたシリコン表面の観察

EPD 研削後のシリコンウエハの外観の一例として、図12に90パス研削した後の研削面を示す。本研究で作製した薄片状シリカEPDペレットは、従来の球状シリカEPDペレットと同様、研削痕やスクラッチの無い鏡面を創成できることがわかった。

4. 2 表面粗さ

図13に研削パス数に対する表面粗さの変化を示す。なお、測定には触針式表面形状測定機(株式会社精密:サーフコム700B, 触針先端半径 $r=5\mu$ m)を用いた。

図に示す通り、30パス研削すると測定機の測定

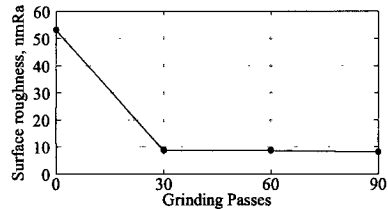


Fig.13 Change of surface roughness with depth of cut

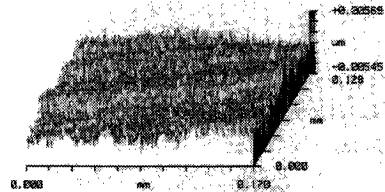


Fig.14 Surface roughness of ground Si wafer measured by New View 100

限界以下である約8nmRaに到達し、それ以降90パスまで研削を続けても粗さがほとんど変化することは無かった。さらに、90パス研削後の到達表面粗さを調べるため、非接触式表面形状測定器(ZYGO: NewView100)によって測定を行った。図14に測定結果を示す。その表面粗さは約11nm \sqrt{v} (1.1nmRa)であった。

4. 3 研削比

図15に薄片状シリカEPDペレットで研削したときの研削比を示す。また、比較のために従来の球状シリカEPDペレット(粒径20 μ m)での研削比も示す。

図に示すように、薄片状シリカEPDペレットを用いた場合、研削比が約1.7と球状シリカEPD砥石の場合⁽⁵⁾⁽⁶⁾と比較して2倍近い値が得られた。

4. 4 加工歪み

これまでに、球状シリカEPDペレットにて研削すると前加工で生じた加工歪みを除去できることが分かっている⁽⁵⁾⁽⁶⁾。そこで、本研究では薄片状シリカEPDペレットによる研削がシリコンウエハに与える加工歪の状況を調査するため、以下の実験を行った。

まず、両面ポリシングされたシリコンウエハの片面をダイヤモンドホイールで厚さ約150 μ mになるまで研削した。その後、この研削面に対して表2に示した条件でEPD研削を施し、EPD研削前後におけるウエハの湾曲状態を目視にて観察した。以上の実験により、加工歪みの定性的な評価が可能である。ただし、ウエハの湾曲状態を分かりやすくするために、鏡面であるチャック側のポリシング面を用い、

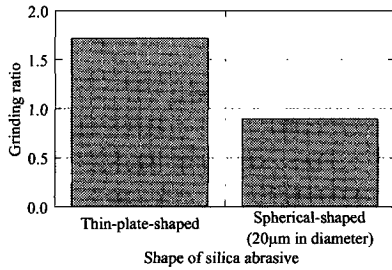


Fig.15 Grinding ratio of EPD grinding

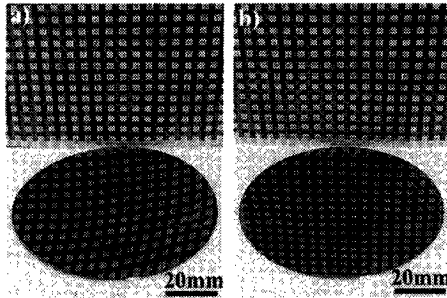


Fig.16 Warp of thin-wafer, 150mm in thickness, a) before and b) after EPD grinding

格子模様を写すことで湾曲状態を評価した。

図16にEPD研削前後のシリコンウエハの湾曲状態を示す。図a)にダイヤモンドホイールによる前加工直後のシリコンウエハの湾曲状態を示す。チャック面に映された格子模様は「ノ」の字を描いている。これはシリコンウエハの前加工面側が凸に湾曲していることを示している。すなわち、ダイヤモンドホイールによる前加工を施した際に研削面に圧縮応力が残留していることがわかった。一方、図b)は10パスEPD研削した後のシリコンウエハの湾曲状態を示す。チャック面に映された格子模様は直線状であり、目視ではウエハの湾曲を確認することが出来なかった。以上より、薄片状シリカEPDペレットにおいても球状シリカの場合と同様、前加工で生じた加工歪みの大部分を除去する効果を持っていることが明らかになった。

5. 薄片状シリカ砥粒による鏡面研削メカニズム

本研究で試作した薄片状シリカ砥石は、シリコンウエハの鏡面研削が可能であった。しかも、従来の球状シリカ砥石と比較して約2倍の研削比を示した。これらの原因を調査するため、EPD研削後の砥石作用面および研削屑の観察を行った。

5. 1 砥石作用面および研削屑の観察

図17にEPD研削後の砥石のSEM観察結果を示す。

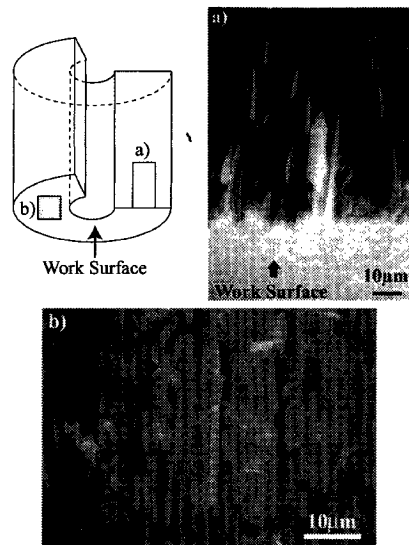


Fig.17 SEM image of a) cross-section and b) work-surface of EPD pellet after grinding

図a)は砥石断面を、図b)は砥石作用面のSEM写真である。これより、研削後においても薄片状シリカの方向性は乱されず、研削面に対してほぼ垂直に配置を持続していた。また、砥粒の突き出しは砥石作用面できれいに揃っていることがわかった。

図18に薄片状シリカEPDペレットを用いてシリコンウエハを研削した際に生じた研削屑のSEM写真を示す。

研削屑には図a)に示すような針状と図b)に示すような粒状の2種類の形状のものが含まれていた。これらのEPMA分析を行ったところ、両者ともシリコンの酸化物であった。これより、これらはシリコンウエハから生じた切り屑、または脱落したシリカ砥粒の一部であることが分かった。また、これまでに球状シリカEPDペレットで研削すると針状の切り屑が生じる⁶⁾ことが分かっている。これより、本研究で見られた針状のものも同様にシリコンウエハから生じた切り屑だと考えられる。

一方、粒状のものは薄片状シリカで研削した場合でのみ見られた。これより、粒状のものは脱落した薄片状シリカ砥粒の一部であると考えられる。

5. 2 研削メカニズムの考察

EPD研削後の薄片状シリカEPDペレットを観察した結果、研削面において薄片状シリカの方向性は乱れていないことが分かった。また、研削屑の観察を行った結果、それらに含まれていたのはサブマイクロンオーダーの針状および粒状のシリカのみであり、

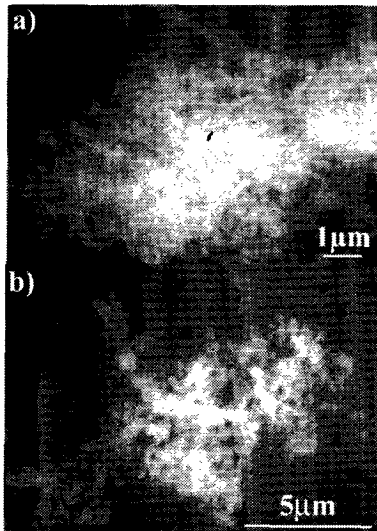


Fig.18 SEM image of a dust particles, a) acicular and b) lump type.

原粉末である薄片状シリカ（長さ数十 μm ・厚さ約 $1\mu\text{m}$ ）はなかった。このことより、EPDペレット中で薄片状シリカはその保持が強固に行えていると考えられる。また、薄片状シリカがサブミクロンの粒状で脱落していることや砥粒の突き出しも研削面で揃っていたことは、シリカ接触面積も経時変化が少なくすんで、安定した研削が行えていることを示唆している。この結果、薄片状シリカEPDペレットは高い研削能率を示したと考えられる。

本研究で使用した薄片状凝集シリカは、数十nmのシリカ超微粒子を板状に凝集させた後に熱処理を行い、その後機械的に粉碎したものである。これより、その熱処理工程で数十nmのシリカ超微粒子がサブミクロンサイズの粒状に成長している可能性がある。また、研削屑の観察より、サブミクロンサイズの粒状シリカは脱落した薄片状シリカの一部であると考えられる。すなわち、薄片状シリカはサブミクロンサイズの粒状シリカから構成されていることを示唆している。これより、見かけ上の加工は長さ数十 μm ・厚さ約 $1\mu\text{m}$ の薄片状シリカで行われているが、実際にはサブミクロンサイズの粒状シリカによって加工が行われていると考えられる。このことは非常に微細なサブミクロンサイズの粒状シリカによって加工が行われているため、薄片状シリカであっても鏡面研削が可能であったと理解できる。しかし、その粒状シリカが機械的、化学的、あるいは両方の作用で加工に寄与しているかは不明である。今後、更なる検討を行う必要が

ある。

6. 結 言

本研究では薄片状シリカ砥粒を規則的に配列したシリコンウエハ鏡面研削用砥石の作製を試み、超精密平面研削盤を用いて研削実験を行った。得られた研究成果を以下に示す。

- (1) 電気泳動現象に加え、吸着電極を回転させることにより、薄片状シリカ砥粒を規則的に配列させることが可能であった。
- (2) 薄片状シリカ砥石によりシリコンウエハの鏡面研削が可能であった。また、得られた表面粗さは約 11nm-p-v (1.1nmRa)であった。
- (3) 薄片状シリカの研削性能を調べたところ、球状シリカと比較してその研削比は2倍程度向上できた。
- (4) 薄片状シリカ砥石で研削を行うことにより、ダイヤモンドホイールで研削した際に生じた加工歪みを除去できることがわかった。

謝 辞

本研究を遂行するに当たり、薄片状シリカ超微粒子を朝日化学工業㈱より、アルギン酸ナトリウムを㈱紀文フードケミファよりご提供いただきました。関係者一同に感謝の意を表します。最後に、本研究の一部は平成13年度科学研究費補助金（奨励研究(A) 課題番号13750095)によって行われたことを付記いたします。

参考文献

- 1) 池野順一, 光技術コンタクト, **36-9**, (1998), 477-483.
- 2) J. IKENO, Y. TANI and H. SATO, Ann. CIRP, **39-1**, (1990), 341-344.
- 3) J. IKENO, Y. TANI and A. FUKUTANI, Ann. CIRP, **40-1**, (1991), 351-354.
- 4) 阿部耕三, 安永暢男, 宮下政和, 吉岡潤一, 大東聖昌, 精密工学会誌, **59-12**, (1985), 73-78.
- 5) T. Fukazawa, N. Fuwa, J. Ikeno, H. Shibusaki, O. Horiuchi and H. Suzuki, Proc. of 10th ICPE, (2001), 366-370.
- 6) 深澤隆, 不破徳人, 池野順一, 澁谷秀雄, 堀内幸, 鈴木浩文, EPDペレットによるシリコンウエハの鏡面研削, 砥粒加工学会学術講演会講演論文集, (2000), 73-74.
- 7) H. Shibusaki, J. Ikeno, O. Horiuchi and K. Yano, Proc. Of 9th ICPE, (1999), 98-102.