超精密平面研削盤の開発

石﨑　幸三[1]

Development of High Precision Grinding System
by
ISHIZAKI Kozo[1]

抄録

定圧送り機構研削盤に、エアースライダーを導入し、研削盤の性能を向上させた。その結果、以下のような成果が得られた。テーブル送り速度は、研削条件により変化することが確認された。このことは時間とともに悪化する砥石の性能評価、ひいては砥石面再生工程である目立てのタイミングが容易に判定できることを示す。また、切り込み量が増大するにつれて比研削エネルギーは減少し、切り込み量 10μm 以上で一定値となった。定圧送り研削盤で加工した試料は、切り込み量によらず表面粗さおよび破壊強度は一定であった。これは定圧送り研削盤では加工物の研削面に切り込み量によらず常に一定な力が作用しているため、加工物の面粗さと破壊強度を損なうことなく、高速な加工が行えることを示す。アルミナ焼結体、シリコンウエハともに数十μmの厚さまで、特殊なサポートテープや接着剤を用いず研削のみで加工することが可能となった。

１．緒言

最近、宇宙開発、海洋開発、原子炉、核融合炉、航空機などの先端技術分野においては、高温、高真空、大きな応力、高腐食性などの厳しい環境に耐える材料が開発され。また、新エネルギーおよび省エネルギー技術においても、1000℃以上の高温で長期間使用できる材料の開発も進んでいる。しかし、エンジニアリングセラミックスの優れた特性を広く工業界で活用するためには、焼結後の機械加工が必要となるが、大部分のエンジニアリングセラミックスは硬くて脆いため、精密な加工は困難である。そこで今回はこの問題点を解決する方法として研削方向に定圧機構を仕上げ面方向には定寸機構を適用した新しい研削装置を提案してきた。本事業では、その加工法を進歩させたウエハ研磨システムを確立するために、数十グラムの低い定荷重で精密にかつ高剛性で駆動するテーブル送り機構の開発を行い、先端電子部品加工の生産性向上を図ることを目的とする。

[1]長岡技術科学大学機械系教授

２．定圧送り研削盤

一般にエンジニアセラミックスの平面加工は、表面に大きな欠陥を生じにくい遊離砥粒を用いたラッピングが施されてきた。しかし、ラッピングは加工能率が低く、加工量の制御が難しい。そこで、被削材表面に欠陥を生じず、高能率・高精度に加工できる装置が切望されている。筆者らは、素材に与えるダメージを極限まで抑え、サブミクロンの平坦度とナノメートルオーダーの表面粗さを実現し、かつ高能率に加工できる新しい発想の研削加工機を開発し提案してきた。

図１に高能率かつダメージフリー加工を実現するために、研削方向に定圧機構を仕上げ面方向には定寸機構を適用した新しい研削装置を示す。研削機構を考えた場合、被削材の表面性状を向上するためには、被削材表面に過度の力が一切かからない定圧機構が望ましい。一方、加工後の被削材の厚さの寸法精度を確保するためには定寸機構が望ましい。定圧送り研削盤は、削られる材料の立場で機械の動きを制御する。低摩擦の案内機構と

定圧の送り機構を用いて、加工工具(砥石)の切れ味に合わせて加工が進行することを特徴とする。機械主導の動きではなく、材料の立場、工具の立場(砥石)から、新しい研削機構を提案する[1-4]。

また、本方式では、研削速度は定圧方式のために研削能力によって決まり、高能率な砥石を用いると、その砥石の能力を最大限に発揮させることができる。目詰まり等で砥石の研削能力が低下した場合、研削速度が低下するため砥石のドレッシング間隔が判定しやすく、表面粗さや平坦度などを維持した加工が可能である。

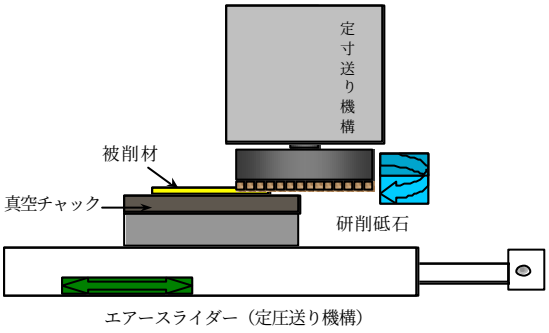

図１　定圧送り研削盤概観
高能率・ダメージフリー研削を実現するために、高能率研削砥石、多孔質セラミックス製真空チャック、定圧送り機構を開発した。

定圧送り研削盤は、加工速度が砥石の性能に依存する。そこで砥石形状、構造、条件等を考慮し、鏡面加工と高能率を同時に実現できる新型砥石を開発した[5,6]。図２に同じダイヤモンド砥粒サイズ（30-40 μｍ）を用いた市販砥石および新型砥石の研削速度と研削後の表面粗さを示す。比研削材はハードディスクに用いられる結晶化ガラスである。また、同じサイズの遊離砥粒を用いたラッピングの結果もあわせて示す。新規に開発した砥石の研削速度と表面粗さの関係を示す曲線は、市販砥石やラッピングに比べて右下に位置する。これは新型砥石が、良好な仕上げ面と高能率な加工を同時実現していることを示す。

２．２　開発要素２：多孔質セラミックス製真空チャック

平坦面を作り上げるには、高剛性の真空チャックの開発が必要となる。そこで多孔質セラミックスを利用した真空チャックを開発した。この真空チャックの出来如何がサブミクロンオーダーの加工精度(特に平坦度)実現に直結する。本方式では、まず、ドレッシング、ツルーイングが完了した砥石を用いて、真空チャック表面の研削加工を行う。これにより砥石面と真空チャック面は平行に加工される。加工後、真空チャックに被削材を取付け、加工を行うことにより、被削材表面を真空チャック面に対して平行に加工できる。これが、高精度な加工が可能となる本方式の一つの要因である。

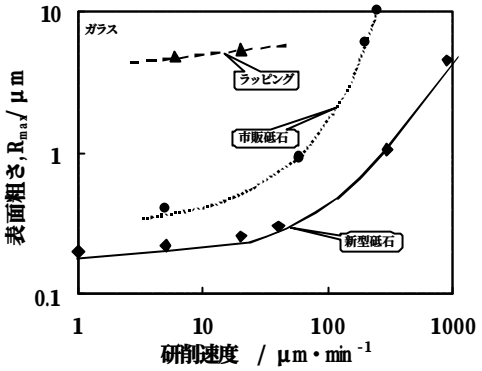

図２　同じダイヤモンド砥粒サイズ（30-40 μｍ）を用いたラッピング、市販砥石および新型砥石の研削速度と研削後の表面粗さの関係
新規に開発した砥石の研削速度と表面粗さの関係を示す曲線は。市販砥石やラッピングに比べて右下に位置し、良好な仕上げ面と高能率な加工を同時実現していることを示す。

２．３　開発要素３：定圧送りシステム

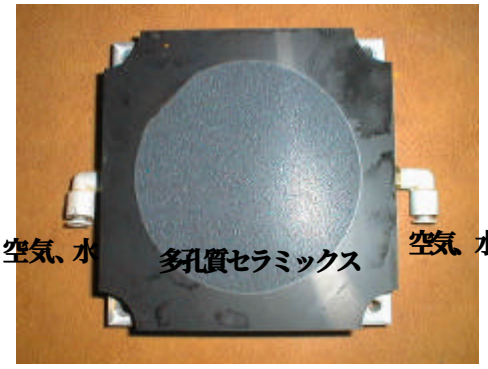

図３　多孔質セラミックス製真空チャック
あらかじめ真空チャックを研削することにより、研削後の試料の平坦度を確保する。

本事業では、上記既開発要素に加えて、加工物に与えるダメージを極力抑えることを目的に加工物送り機構にわずかな圧力差で駆動するエアースライダーを導入した。通常のエアスライダーでは、点浮上のために十分な機械剛性が得られない。そこで、多孔質セラミックスを用いて、面で浮上できるエアスライダーの作製し、研削加工に耐えうる高剛性のエアスライダーを開発した。ダメージフリー加工の最大の特徴は、この定圧送りシステムである。素材に、あらかじめ一定以上の力を加えないようにすることで、材料に加わる欠陥を力で制御することになる。投入した力は、当然クラックや表面状態に影響するため、あらかじめ投入の力を軽減することがダメージフリー加工につながる。

2．4　加工結果

図 4 に 25×50×1mm のアルミナ焼結体の研削結果を示す。1pass 当たりの切込み量を増加させるにつれて加工物にかかる垂直方向力(*F*n) と砥石回転方向力(*F*t)は増加する。一方、テーブル送り速度(*V*f)は減少することが明瞭に観察された。本事業により開発したエアースライダーを導入することにより、僅かな加工条件の変化でも、テーブル送り速度が変化することが確認された。このことは時間とともに悪化する砥石の性能評価、ひいては砥石面再生工程である目立てのタイミングが容易に判定できることを示す。

図 5 に直径 4inch×厚さ 0.5mm のシリコンウエハの研削結果を示す。1pass 当たりの切込み量を増加させるにつれて加工物にかかる垂直方向力(*F*n) と砥石回転方向力(*F*t)は増加し、切り込み量 30μm で最大となり、その後減少する。一方、テーブル送り速度(*V*f)は常に減少する。その減少傾向は、アルミナ焼結体の減少量に比べて激しい。垂直方向力(*F*n) と砥石回転方向力(*F*t)の研削抵

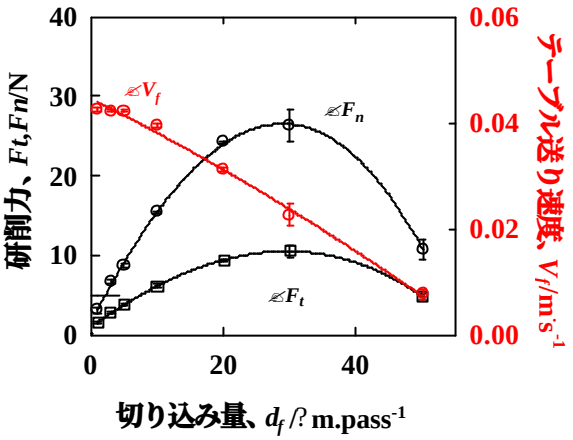

図 5　シリコンウエハの研削結果
垂直方向力(*F*n) と砥石回転方向力(*F*t)の研削抵抗が最大を示すのは、切り込み量 30μm 前後でシリコンウエハの研削メカニズムが変化するためである。

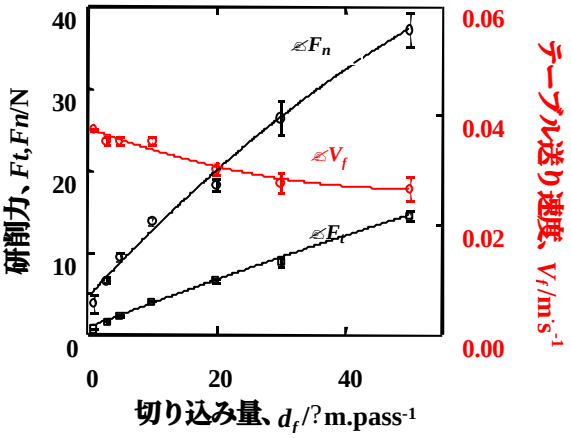

図 4　アルミナ焼結体の研削結果
僅かな加工条件の変化でも、テーブル送り速度が変化する。このことは時間とともに悪化する砥石の性能評価、ひいては砥石面再生工程である目立てのタイミングが容易に判定できることを示す。

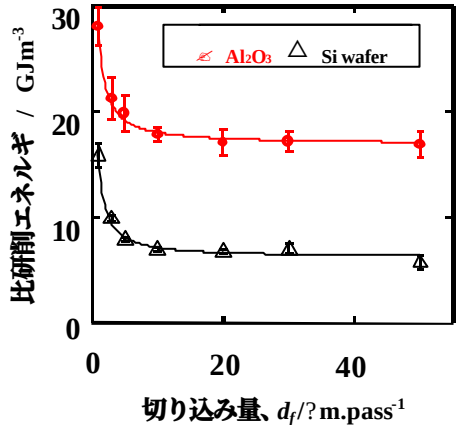

図 6　比研削エネルギーの計算結果
比研削エネルギーは、加工物、加工条件、使用する砥石に影響され、その値が小さいほど効率の良い研削を行っていることを示す。

抗が最大を示すのは、切り込み量 30μm 前後でシリコンウエハの研削メカニズムが変化するためである。切り込み量が 30μm 以下では、延性的な破壊により研削が進行するが、それ以上では脆性的な破壊が生じる。したがって、切り込み量を維持するために必要な研削抵抗は減少する。以上の結果から、定圧送り研削盤で送り速度および研削抵抗を常時測定することは、砥石の目立て工程の時期を判断することが可能であるばかりでなく、加工メカニズムを解明する上でも重要である。

図 6 に比研削エネルギーの計算結果を示す。比研削エネルギーは次式により定義される。

$$S.G.E = \frac{Ft\ Vs}{\dot{V}}$$

ここで、Ft は回転方向の研削抵抗、Vs は砥石の周速、$\dot{V}$ は加工物除去速度を示し本事業では加工物のサイズと切り込み量の積をテーブル送り速度で除した値である。比研削エネルギーは、加工物、加工条件、使用する砥石に影響され、その値が小さいほど効率の良い研削を行っているといえる。本事業の場合、切り込み量が増大するにつれて比研削エネルギーは減少し、切り込み量 10μm 以上で一定値となる。切り込み量が小さい時は、研削時の機械抵抗などが比研削エネルギーを増加させる原因となる。また、アルミナ焼結体に比べてシリコンウエハの比研削エネルギーが全実験条件で小さな値となるのは、シリコンウエハがアルミナ焼結体に比べて研削しやすい材料であることを示す。

図 7 に研削後の加工物表面粗さを示す。加工物の表面粗さは、いずれの試料とも切り込み量によらず一定である。これは定圧送り研削盤では加工物の研削面に切り込み量によらず常に一定な力が作用しているため、加工物の面粗さを損なうことなく、高速な加工が行えることを示す。

図 8 にアルミナ焼結体の 4 点曲げ試験の結果を示す。この試験ではアルミナ焼結体を 3×4×40mm のサイズになるように定圧送り研削盤で加工した。加工条件は 1pass 当たりの切り込み量のみ変化させた。また、一般的な研削盤の送り機構である定速送りでもアルミナ焼結体を加工し、曲げ試験に及ぼす送り機構の影響を調べた。定圧送り機構により加工したアルミナ焼結体の曲げ試験結果は、切り込み量によらずほぼ一定の破壊強度を示した。（僅かに切り込み量が 50μmの場合、破壊強度の低下が見られた。）一方、定速送り機構により加工したアルミナ焼結体の曲げ試験では、

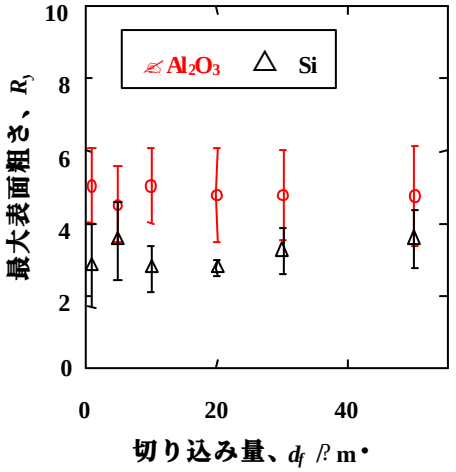

図 7　研削後の加工物表面粗さ
加工物の面粗さを損なうことなく、高速な加工が行えることを示す。

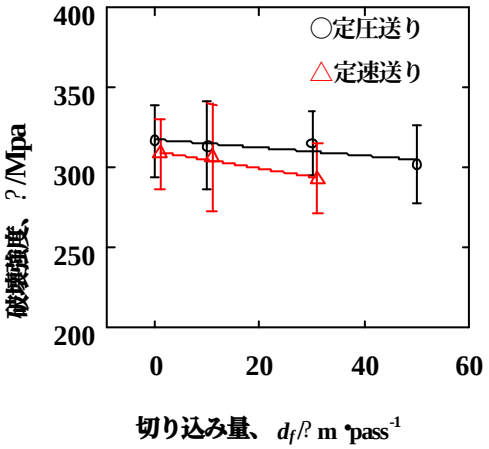

図 8　アルミナ焼結体の 4 点曲げ試験の結果
定速送り機構により加工したアルミナ焼結体の曲げ試験では、全切り込み量で定圧送り機構により加工した試料より低い破壊強度を示す。

全切り込み量で定圧送り機構により加工した試料より低い破壊強度を示した。また、切り込み量の増加につれて、破壊強度が低下する。

シリコンウエハとアルミナ焼結体はいずれも数十μｍまで破壊することなく加工可能であり、その加工速度は約10μm/minである。定圧送り研削盤による加工結果の一例を図９に示す。この研削盤で厚さが40μｍまで加工したアルミナ焼結体は良好な透過性を示した。

加工前のアルミナ　　加工後のアルミナ
厚さ　１　mm　　厚さ　４０ ?m

図９　定圧送り研削盤による加工結果の一例
アルミナ焼結体はいずれも数十μｍまで破壊することなく加工可能であり、その加工速度は約10μm/min である。この研削盤で厚さが 40μm まで加工したアルミナ焼結体は良好な透過性を示す。

３．結言

定圧送り機構研削盤に、エアースライダーを導入し、研削盤の性能を向上させた。その結果、以下のような成果が得られた。

（１）　テーブル送り速度は、研削条件により変化することが確認された。このことは時間とともに悪化する砥石の性能評価、ひいては砥石面再生工程である目立てのタイミングが容易に判定できることを示す。

（２）　切り込み量が増大するにつれて比研削エネルギーは減少し、切り込み量 10μｍ以上で一定値となった。定圧送り研削盤では、切り込み量を増大させても理想的な研削状態を維持することを示す。

（３）　定圧送り研削盤で加工した試料は、切り込み量によらず表面粗さおよび破壊強度は一定であった。これは定圧送り研削盤では加工物の研削面に切り込み量によらず常に一定な力が作用しているため、加工物の面粗さと破壊強度を損なうことなく、高速な加工が行えることを示す。

（４）　アルミナ焼結体、シリコンウエハともに数十μｍの厚さまで、特殊なサポートテープや接着剤を用いず、研削のみで加工することが可能となった。

参考文献

１．Koji Matsumaru and Atsushi Takata, MRS Bulletin, Vol. 26, No. 7, 544-546(2001)

２．Tomohiro ISHIZU, Hirokazu FUJIWARA, Atsushi TAKATA and Kozo ISHIZAKI, Advances in Technology of Materials and Materials Processing Journal, Vol. 2 No.1, 36-41(2000)

３．大西人司、石崎幸三、特開平 09-103965　多孔質超砥粒砥石とその製造方法

４．飯浜孝雄、嶋本　篤、高田　篤、特開 2000-033566 研磨盤の制御方法および装置

５．石崎幸三、高田　篤、特開 2000-117641 研削砥石の製造方法および研削砥石

６．Kazuyuki KUMAEDA, Hirokazu FUJIWARA, Aatsushi TAKATA and Kozo ISHIZAKI, Advances in Technology of Materials and Materials Processing Journal, Vol. 2 No.1, 10-16(2000)