

# 超精密ポリッシング技術の開発

西村 通喜・河西 伸一・橋田 鉄雄・小松 利安

## Development of Ultraprecision Polishing Technique

Michiyoshi NISHIMURA, Sin'ichi KASAI, Tetsuo KITTA and Toshiyasu KOMATSU

### 要 約

近年、電子デバイスなどは高集積化が進んでおり、製品に要求される形状精度が高くなっている。このため、素材の研磨加工においては、高精度化が必須になってきている。本研究は薄物試料に対する両面ポリッシング加工について、表面の平坦度、平行度、および表面粗さの向上を図るための検討を行った。この結果、超精密なポリッシング加工を行う上で問題点等が明らかになった。

### 1. 緒 言

近年、磁気ディスクや電子基板などは高集積化が進んでおり、製品に要求される形状精度が高くなっている。また、一枚のウエハを細分化して使用し、そのサイズも年々小型化の傾向になっている。このため、デバイス1枚あたりの形状精度に対する要求が高まり、素材表面の研磨加工においては高精度化が必須になっている。形状精度とは、製品寸法や真直度、平面度、平行度、真円度、円筒度、角度、結晶方位の幾何学形状などのほかに、表面粗さや加工変質層の除去などの重要な要素も含んで表現される。

また、現在では光学部品（レンズ・ミラー・フィルター）などは非常に形状精度が厳しく、薄型の電子デバイス部品は、表面粗さなどよりは、平面度や平坦度が重視されている。

しかしながら、今後は薄型で高精度な部品の需要が高くなることが予想される。

本研究はラッピングやポリッシング技法を用いて、薄型部品の表面の平坦度や平行度、表面粗さの向上のための検討をする。また、表面の粗さに大きな影響を与えるポリッシング加工に用いる研磨材、研磨布の適正化を図る。そのために本年度は基礎的な実験を行い、ポリッシング加工の傾向と問題点について検討を行った。

### 2. 実験方法

#### 2-1 試 料

ガラス試料（47mm×8mm×0.7mm）はBK7とし、両面ポリッシング装置（4モーション式両面加工機）を用いて加工を行った。また、水晶ウエハとして、両面ラッピング加工（#4000）を行った1inch角で厚さ約270μmの試料を用いた同様の加工機を使用した。

#### 2-2 ガラスの研磨方法

基礎実験として、通常のポリッシング加工を行う際に必要とされる研磨布、研磨材を種々使用しポリッシング加工を行った。また、研磨量と表面粗さについて測定を行い、この実験におけるポリッシング加工の傾向について検討を行った。研磨布には、不織布系、ポリウレタン系、スウェード系の3種類を使用し、研磨材にCeO<sub>2</sub>、コロイダルシリカ（SiO<sub>2</sub>）の2種類を使用して実験を行った。

#### 2-3 水晶における研磨量における表面粗さ変化

研磨加工における研磨量（ポリッシング加工によって除去された量（厚さ））は一般的には以下のような式<sup>1)</sup>で表される。

$$h_w = \sum_{i=1}^m \eta_w \cdot (\overline{v_w}) \cdot (\overline{p_w})_m \cdot \Delta t$$

ここで、 $h_w$ （μm）は研磨量であり、研磨時間  $t$ （min）を  $m$  等分した微小時間  $\Delta t$ （min）における総和で表せる。 $(\overline{v_w})$ （km/min）は相対速度の平均値であり、 $(\overline{p_w})_m$ （Pa）は加工時間  $(m-1)\Delta t$ （min）における加工圧力の平均値であり、 $\eta_w$ （μm·km<sup>-1</sup>/Pa）は加工条件における比例定数を示す。この式より、 $(\overline{v_w})$ 、 $(\overline{p_w})_m$  が同一研磨条件において、研磨量を得る場合には時間をかけ研磨する必要がある。ポリッシング加工を行う目的として、微少な除去加工、加工変質層の除去、表面粗さの減少（鏡面加工）などがあげられるが、特に鏡面加工を目的とした場合には、必要とされる表面粗さを得るための適正な加工条件を求めることが重要となる。

このために、水晶ウエハ試料にポリッシング加工（研磨布：不織布系、研磨材：CeO<sub>2</sub>）を行い、研磨量と表面粗さの関係を調べた。

ポリッシング加工された水晶試料に対し、さらにポリッ

シング加工（研磨布：硬質ポリウレタン系、研磨材：コロイダルシリカ）を行い、研磨量と表面粗さの関係を調べた。

2-4 測定

この実験において、表面粗さ測定はWYKO社製TOPO-3D（測定範囲240×240μm）、厚さ測定装置を使用した。

また、ポリッシング加工による表面形状変化を見るためにZygo社の平面度測定機を使用し、光学干渉縞を読み取り、表面形状測定を行った。

3. 実験結果及び考察

3-1 ガラスにおける研磨特性

表1は、ガラスのポリッシングにおいて任意に5試料を抽出し、それらの両面表面粗さの測定を行い平均化したものである。

表1 実験結果

研磨布 研磨材	不織布系	硬質ポリウレタン系	スウェード系
CeO <sub>2</sub>	研磨量：15 μm Ra：0.97nm P-V：9.9nm	研磨量：12 μm Ra：0.89nm P-V：10.0nm	実験無し
コロイダルシリカ (SiO <sub>2</sub> )	研磨量：2~3 μm Ra：0.69nm P-V：6.46nm	研磨量：1~2 μm Ra：1.02nm P-V：10.1nm	研磨量：1~2 μm Ra：0.88nm P-V：8.61nm

ここで、研磨材SeO<sub>2</sub>、研磨布スウェード系での実験は、研磨布の日詰まりが激しいために、実質的ではないと判断し、行わなかった。

以上の結果から、本実験においても、良好な結果と研磨量を得るための研磨材はCeO<sub>2</sub>が望ましいことが明らかとなった。これは、研磨材の粒径の大きさだけでなく、化学的作用により水和膜が形成され、それが取り除かれているためであるとされている。<sup>2)</sup>

また、研磨材にコロイダルシリカを使用した場合は表面粗さRa、P-V共に良い結果となった。これは、粒径が非常に小さく、またアルカリ性が高い研磨材であることから化学的作用<sup>3)</sup>が起こっているためと考察される。

3-2 水晶における研磨量および表面粗さ変化

水晶におけるポリッシング加工（研磨布：不織布系、研磨材：CeO<sub>2</sub>）を行い、研磨量と表面粗さの結果を図1、図2に示す。

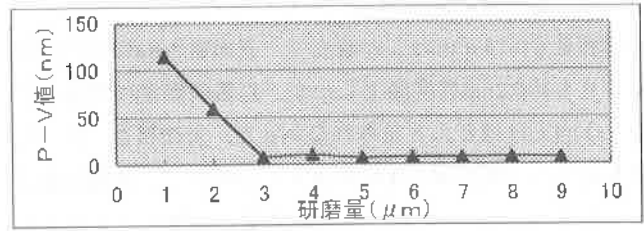


図1 研磨量と表面粗さの関係

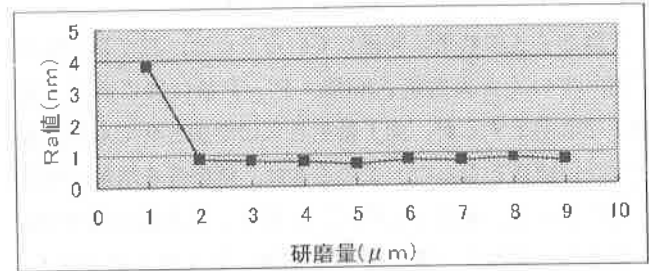


図2 研磨量と表面粗さの関係

表面粗さの測定方法は2-4の方法で行い、研磨量は周波数の測定値を厚さに換算した。この結果より、ポリッシング加工を3μm以上行っても表面粗さRa0.8nm、P-V7nmの値以上は向上しないことが認められた。一般的にこの現象は、どの条件でポリッシング加工を行っても、発生することが予測される。本実験では、研磨量が2μmの時点で、表面粗さRaは0.87nmとほぼ良くなっているが、ラッピング加工でできた深い傷が点在しているためP-V値は58.6nmと高い値を示したものと思われる。

また、研磨量を3μm以上行っても、表面粗さ、Ra、P-Vの向上は認められなかった。このことは、この時点で、ラッピング加工で出来た深い傷はほぼ除去されたことを示す。微少加工における寸法精度の向上を図る場合は良いが、鏡面加工を旨とするのであれば、これ以上の加工を行っても加工時間の損失であり、加工効率低下の原因になるため、研磨材や研磨布などの加工条件を変えたポリッシング加工へ移行することが望ましいと考えられる。

次に、図3は、水晶におけるポリッシング加工（研磨布：硬質ポリウレタン系、研磨材：コロイダルシリカ）に

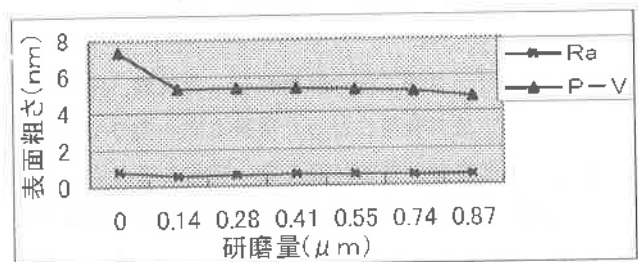


図3 研磨量と表面粗さの関係

おける、研磨量と表面粗さの結果を示す。

研磨量を $0.14\mu\text{m}$ とした時点で、表面粗さRaは初期の状態よりも約 $0.2\text{nm}$ 程度向上したが、以後研磨量の増加にともなう向上はほとんど見られなかった。表面粗さ、P-V値も同様に、研磨量を $0.14\mu\text{m}$ とした時点で、初期状態よりも約 $2\text{nm}$ 向上したが、以後研磨量の増加にともなう表面粗さ、P-V値はわずかであるが減少する傾向を示した。このことは、P-Vの原因として考えられる深い傷が、研磨量を増すごとに除去されたと考察される。

実験2-3の結果に共通していることは、加工量を徐々に増していくと表面粗さRa値、P-V値は共にある一定値までは向上するが、加工量をさらに増加させても値に変化はない結果となった。このことは、研磨量を増加させることによって、前加工工程により発生した表面の凹凸や傷を除去し、現加工工程による表面粗さとなるためである。また、表面粗さRa値、P-V値の間には約10倍ほどの開きがある結果となった。鏡面加工のメカニズムには様々な説が存在するが、仮に物理的な除去加工のみが行われたとすると、砥粒の大きさのばらつきや、他から混入する異物等から表面に傷などの発生によりP-V値がRa値に比べ大きくなったと考えられる。

次に、平面度測定の結果を、図4、図5に示す。

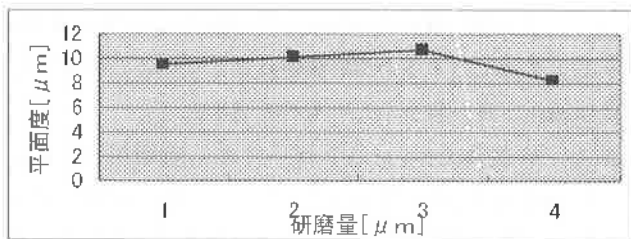


図4 研磨量と平面度の関係

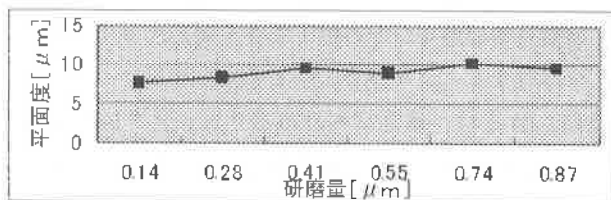


図5 研磨量と平面度の関係

図4はラッピング加工後の試料に行った実験、図5はポリッシング加工後の資料に行った実験と同一条件で加工を行ったが、平面度が全体的に良くない結果となった。このことは、試料の各部5点の周波数を測定し厚さに換算したところ $0.2\mu\text{m}$ 以下に収まっていることと、干渉縞の形状より、厚さのばらつきではなく、試料の反りに起因すると

考えられる。今後は、平面度向上についても重要な要素となるためにその改善を検討する必要がある。

#### 4. 結言

両面ポリッシング装置を使用して、薄型製品の精密なポリッシング加工技術の確立を目指し、加工条件の適正化を行うための基礎的な検討を行った。その結果、厚さ $300\mu\text{m}$ 以下の水晶ウエハを使用した加工では、Ra $0.6\text{nm}$ 以下、P-V $5\text{nm}$ 以下の値となった。また、今回の実験で考察された問題点は、ポリッシング加工において研磨材中における粒径のばらつきや外部からの異物の混入により表面粗さP-V値に大きな影響を与えるために、非常にクリーンな環境を保たなければならないこと、また、薄物試料の研磨において、試料の反る現象を解決しなければならないことなどがわかった。

今後、上記の問題点等をふまえ、P-V値で $1\text{nm}$ 以下の精密なポリッシング技術について加工精度を高める実験を行う必要がある。

この実験にあたり、ご協力をいただいた株式会社ティアイエムの塚原社長はじめ社員の方々に御礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 精密工学会編：精密工作便覧，(株)コロナ社,p.382 (1992)
- 2) 精密工学会編：精密工作便覧，(株)コロナ社,p.380 (1992)
- 3) 小林昭ら：鏡面加工技術の進歩，(株)総合技術センター，p.151 (1992)