

平成 21 年 6 月 12 日現在

研究種目： 基盤研究（C）  
 研究期間： 2007～2008  
 課題番号： 19560107  
 研究課題名（和文） 結晶基板の超量産を目指す遊離砥粒研磨加工の知的高度化  
 研究課題名（英文） Intellectual advancement on loose abrasive polishing for super mass production of crystal substrate  
 研究代表者  
 堀尾 健一郎（HORIO KENICHIRO）  
 埼玉大学・大学院理工学研究科・教授  
 研究者番号： 60201761

研究成果の概要：超量産仕上げ加工を実現するための遊離砥粒研磨技術について検討した。両面研磨加工技術については新規開発したスケルトン型加工装置により加工状況の把握，およびそれに基づく加工メカニズムの考察が可能となった。表面形状加工技術については，オスカー型と修正輪型それぞれについて現象観察に基づく考察，および試料保持方法などの各種技術開発により数 100 倍の高効率化が図れる接触型研磨技術が適用可能であることを示した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2008 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産加工／加工学

キーワード：精密研磨，両面研磨，精密部品加工，ベベル形状，修正輪型研磨

## 1. 研究開始当初の背景

水晶(Quartz)は，発振子，フィルタ，SAW デバイス，光学フィルタなど用途の多様性もあり，電子機器をはじめ多くの製品の基幹部品に使われている素子である。1 台の携帯電話に 10 個以上の各種類の水晶素子が使われており，携帯電話が年間 7 億台生産されていることを考え合わせると，水晶素子は超量産品であることがわかる。素子製造に関しては諸外国の発展が目覚しいが，先端的な製品の製造ではまだ日本が圧倒的に優位である。逆にいえば先端製品の製造で追いつかれないようにする必要があり，先端的な製品の特

徴は小型化である。現在は数 mm 程度であるが，いずれは 1mm 以下の大きさの素子が要求されるといわれている。すなわち小型の水晶素子の超量産において下記のような課題を克服する必要がある。

## (1) 基板の薄型化

基板の加工プロセスは結晶を切断後，両面ラッピング等で形状を整えながら薄くして行き，最終工程では両面ポリシングで表面を仕上げている。水晶発振子の高周波数化など高機能化のためにはより薄いことが望まれるが，厚さ 30 μm 位が限界になっているため発振周波数向上が望めない状態になって

いる。一般に、薄型試料の加工で片面加工を繰り返す方法は、加工中の加工変質層発生による試料の変形のために試料が反ってしまい加工不能になる。両面研磨加工では両面にほぼ均等な残留応力が残存することから試料の変形が生じないという特徴があり、水晶、シリコンウェハなどの最終仕上げ工程として両面ポリシングが用いられている。両面加工時には試料保持のため、キャリアと呼ばれる開口部のある板を用いる。従って、キャリア以下の厚さの加工物を両面研磨することはできない。被加工物の加工抵抗に対抗するためにキャリアにはある程度の強度が必要であり、現在のキャリア厚にはそのための限界が存在する。しかしながら、キャリアにどのような力が加わって加工抵抗となっているのか、その力の原因は何であるのかなどは全く分かっていない。研磨現象を解明し加工抵抗の少ない両面研磨技術を開発すればキャリア厚を小さくでき、より薄い試料の加工が可能になる。

#### (2)ベベル加工の高能率化

水晶発振子においてはスプリアスと呼ぶ副次波（異なる周波数で発振する）を抑制するために、図1に示すような周辺部を若干薄くするベベル形状に加工する。加工量は数 $\mu$ mである。

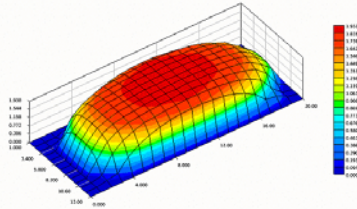


図1 ベベル形状

ベベル形状の実現のために現在行われているバレル研磨加工は、砥粒の跳躍現象を利用した非接触型の加工であり、300時間という極めて長い時間がかかり、また形状の制御性が低いため歩留まりが悪いという問題がある。

#### 2. 研究の目的

水晶発振子などの水晶素子は、年に100億個以上の生産が必要と推定される超量産品である。それら素子の小型化に対応するには、1mm前後の大きさと数 $10\mu$ m以下の厚さの素子を大量生産する技術の開発が必要である。

そのためには、(1)高度な両面研磨加工技術の確立、(2)ベベル形状創成技術の高能率化、高生産性（高歩留まり）化が必要で

ある。

本研究では、今まで経験のみで捉えられてきた両面研磨加工の加工現象の理解に科学的な視点を付加することにより両面研磨技術の高度化を図る。一方、ベベル形状加工に関しては、新たなアイデアであるオスカー型研磨技術を応用した加工法、および修正輪型研磨技術を応用した方法について検討し、従来のバレル加工の数100倍以上の加工能率を実現する見通しを得ることを目的とする。

#### 3. 研究の方法

##### (1)高度な両面研磨技術の開発

研磨加工において加工物や工具に阻まれて加工箇所が観察できず、加工現象が把握できないという問題を克服するために、加工機械の一部をスケルトン化し、加工現象を観察できる両面研磨機を開発した。通常4軸の加工機械に観察のための1軸を付加し5軸の機械とした。また、各軸の速度の組み合わせを自由に選択できるようにして、加工条件も細かに変えられるようにした。本装置を用いて各種加工条件を変化させたときの加工状況を観察し、加工メカニズムを考察した。

##### (2)接触型研磨技術によるベベル加工の実現

ベベル加工への接触型研磨技術の適用について、①オスカー型レンズ研磨技術、②修正輪型研磨技術について検討した。オスカー型レンズ研磨技術はもともと凸球面レンズを加工するために開発され長年使われている技術である。ベベル加工は形状的に類似の（曲率は異なるが）加工であると考え、その適用を検討した。

しかしながら、オスカー型研磨技術はノウハウの多い加工といわれており、修正輪型研磨技術についても検討することにした。一般の修正輪型研磨は平面工具を用いて平面試料を作るための技術であるが凸形状工具もしくは凹形状工具を用いて形状加工することを考えた。これはベベル加工の形状変化量が極めて小さいことにより適用可能であると考えた。これらの技術が開発されれば、接触型研磨技術の特性によりベベル加工がminオーダのプロセスとなることが期待できる。

さらにこれら接触型研磨技術においては、工具に試料を多数貼り付けることによる量産効果も期待できる。特にオスカー型レンズ研磨では大きな工具に多数の試料を貼り付けることにより、同時に多数の加工が可能となる。したがって、1個あたり加工能率としてはsecオーダの加工も可能になると予想できる。歩留まりに影響すると考えられる試料貼り付け方法についても検討した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 高度な両面研磨加工技術の確立

###### ①スケルトン両面研磨機の開発

加工機械の一部をスケルトン化し、加工現象を観察できる両面研磨機を開発した(図2, 3). 通常4軸の加工機械に観察のための1軸を付加し5軸の機械とした(図4, 5). また、各軸の速度の組み合わせを自由に選択できるようにして、加工条件を細かに変えることのできる構造をとった.



図2 スケルトン両面研磨機の外観



図3 透明工具とキャリア

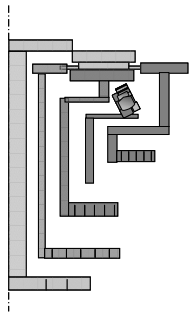


図4 5軸構造



図5 5軸構造外観

###### ②加工状況観察による加工メカニズムの考察

加工液の供給状況については両面研磨機の上下面での供給状況について知見を得ることができた. また、工具に施す溝形状の砥粒供給に及ぼす影響についても検討した. 図6に十字溝工具での砥粒供給状況を示す. 図7は螺旋状溝工具の場合である. 溝の有無、溝の形状が大きな影響を与えていることが明らかとなった.

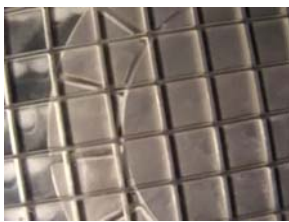


図6 十字溝工具での砥粒流れ



図7 螺旋溝工具での砥粒流れ

加工条件としてキャリアの内側形状と試料形状の組み合わせを変えて加工中の試料の運動を観察し、加工試料が自転しながら加工されている状況、および形状の相違が試料挙動に与える影響を確認することができた.(図8, 9)



図8 上定盤からの観察例



図9 下定盤からの観察例  
(試料回転の確認)

##### (2) 接触型研磨技術によるベベル加工の実現

###### ①オスカー型研磨技術

試作した小型オスカー型研磨装置によりベベル形状が創成できることを実証した. 工具形状の曲率と作成された工作物の曲率の相関について、および加工形状の安定性についてさらに検討する必要があることが明らかになった.

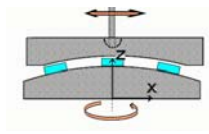
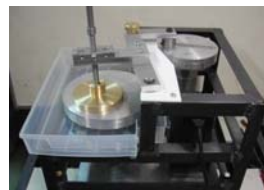


図10 試作したオスカー研磨機と動作原理

### ②修正輪型研磨技術

従来の修正輪型研磨技術の工具と工作物の関係を逆転させ、大きな治具に多数の工作物を貼り付け、小径の工具で研磨加工する技術によりベベル形状を創成できることを示した。

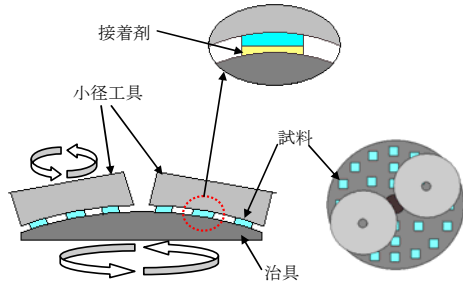


図 11 修正輪型加工の原理



図 12 修正輪型加工の様子

### ③試料接着技術

歩留まりに大きな影響を与える加工準備段階の加工物の治具への接着について検討した。接着厚さの評価法を確立し、接着手順が加工前試料の曲率半径に与える影響を調べた。接着用治具の開発、静水圧を利用した接着手順の開発により曲率半径のばらつきを大幅に低減する手法を確立することができた。

### ④形状精度に影響を与える因子

治具の曲率半径、工具の曲率半径、工作物の曲率半径の相互関係につき詳細に検討した結果、試料貼り付け時の弾性変形量が加工後の形状精度に大きな影響を与えることを明らかにした。図 1 3 ~ 1 4 にその状態を示す。

図 1 3 において、平面試料を凸球面形状の治具に接着すると、試料は弾性変形して撓むが、治具の曲率半径よりは大きな曲率となる。図 1 4 a にその測定結果を示す。このときの試料端部の撓み量を  $a$  とする。

次にこの治具と同じ曲率をもつ凹型球面工具を用いて研磨加工（前記オスカー型、修正輪型どちらでも良い）を行うと、端部が研磨加工されて工具治具形状と同じ曲率の形状となる。同じく図 1 4 b にその測定結果を

示す。このときの試料端部の偏差  $b$  は、撓み量と加工量（ベベル量）の合計となる。

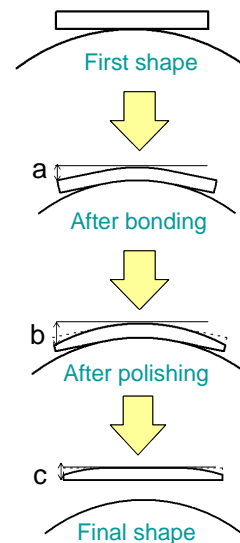


図 13 試料形状の変化

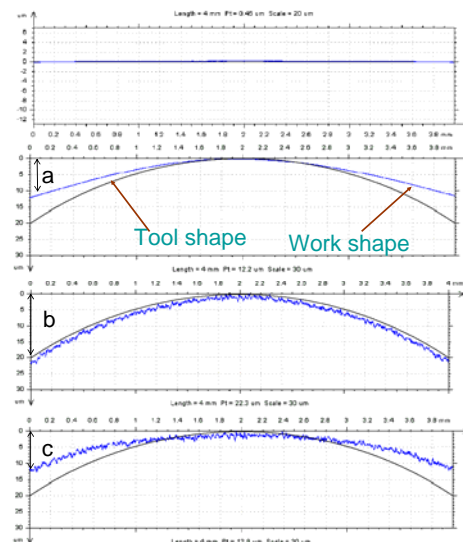


図 14 試料形状の測定結果

最後に、研磨加工後の試料を治具から剥がすと、接着していたときの弾性変形分だけ変形が戻り最終的な端部加工量（ベベル量） $c$  が得られる。

図 1 5 は試料の形状（大きさ）や厚さを変化させた各種の試料について実験した結果を示す。図 1 5 の横軸は接着時の撓み量  $a$  であり、縦軸は加工後のベベル量  $c$  である。研磨加工した状態では加工部形状が工具の曲率半径に一致しているのだから、 $a + c = b$  となるのが妥当であると考えられるが、実際のデータでは、 $a + c = b + 3 (\mu\text{m})$  という結果になった。この  $3 \mu\text{m}$  の差異は、残存接着剤の影響や接着時の加熱の影響などが考えられる。

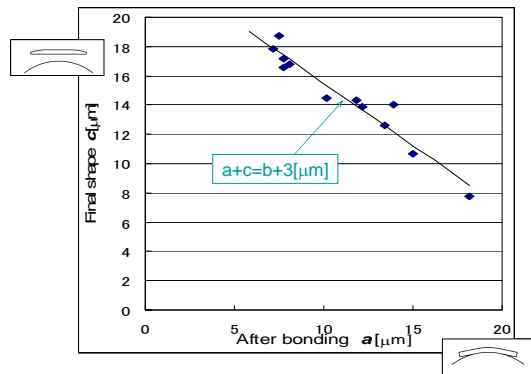


図 15 接着変形量とベベル加工量の関係

図 15 におけるデータの直線性はきわめて良好であることから、非常に安定した加工が可能であることが示唆される。

本研究により加工能率の点で優れた特徴をもつ接触型の研磨加工で高精度にベベル形状を創成できることが明らかとなった。加工能率、加工精度、歩留まり、いずれの点においても従来のバレル加工を凌駕するものである。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

Kenichiro Horio, Junichi Kaneko, Tsugio Yamazaki, New Approaches of Bevel Shape Generation for Quartz Crystal, Proceedings of American Society for Precision Engineering, 2008, CD-ROM, 査読有り

[学会発表] (計 1 件)

山崎次男, 堀尾健一郎, 松原巧季, 金子順一, 可視化研磨機による加工面観察(第2報)ー溝付き定盤の場合ー, 精密工学会 2008 年度秋季学術講演会, pp. 439-440 (2008. 9. 18)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

堀尾 健一郎 (HORIO KENICHIRO)  
 埼玉大学・大学院理工学研究科・教授  
 研究者番号：60201761