

機関番号：15301  
 研究種目：基盤研究(C)  
 研究期間：2008～2010  
 課題番号：20560109  
 研究課題名(和文) 吸引キャビテーション流を利用する水晶ウエハの超精密三次元マイクロ砥粒加工法の開発  
 研究課題名(英文) Development of Ultraprecision Micro Abrasive Machining Using Cavitation Suction Flow

## 研究代表者

大橋 一仁 (OHASHI KAZUHITO)

岡山大学・大学院自然科学研究科・准教授

研究者番号：10223918

## 研究成果の概要(和文)：

加工チャンバ内にウエハを水平に設置し、チャンバ内のスラリーを鉛直上方に吸引することによって、ウエハに対抗させた絞りノズルからキャビテーションを伴うスラリー流をウエハ表面に作用させる反転流型キャビテーション援用砥粒加工法を考案し、その効果と水晶ウエハの加工に適する加工条件を検討した。絞りノズル径およびウエハとのクリアランスによってウエハ形状を数十ナノメートルのレベルで変化させることができ、ウエハ設置ステージに回転機構を加えることで形状精度が更に向上した。

## 研究成果の概要(英文)：

The abrasive machining using a cavitation in reversing suction flow, in which slurry squirts against a wafer surface perpendicularly from a restrictor nozzle by suction of slurry in a machining chamber, is formulated in this study. Machining effect in the developed method and suitable machining conditions of quartz wafers are investigated. Wafer surface profile is dominated in several nanometer level by the nozzle diameter and the nozzle clearance. The form accuracy of wafer surface is improved by addition of rotating mechanism in a wafer setting stage.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

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

キーワード：切削・研削加工，マイクロ砥粒加工

## 1. 研究開始当初の背景

近年の情報産業の飛躍的發展により、情報

通信機器やコンピュータ等のデジタル機器の  
更なる高性能化が求められている。これを決

定付ける要因の一つに水晶振動子の固有振動周波数の上昇が挙げられる。固有振動周波数を上昇させる基本的方策は、振動子に組み込まれる水晶ウエハの厚さを一様に小さくすることであるが、現在一般的に利用されている研磨加工とウェットエッチングを用いた生産技術では30 $\mu\text{m}$ 以下の厚さにすることが困難であるのが現状であり、更なる薄片化に向けての研究がなされている。さらに、同生産工程に利用されるウェットエッチングを利用することによって、に使用するエッチャントは一般に酸化性の極めて強いフッ酸などの腐食液であるため、装置への耐腐食対策や図1に示すような使用後のエッチャント廃液の処理などが不可欠である。特に廃液の処理に関しては、近年の環境排出基準の厳格化により、その処理経費や手間に苦渋する企業も少なくない。

そこで本研究では、従来からガラス基板に数nmの表面粗さでマイクロチャンネル等を製作してきた吸引キャビテーション流を用いたマイクロ砥粒加工技術 [K.Ohashi, S.Tsukamoto, M.Taguchi, K.Matsuoka: Application of Cavitation Aided Machining to Micro Patterning of Glass, Proceedings of The Twentieth Annual ASPE Meeting (2005)] を利用してドライエッチングすることなく水晶ウエハに高周波振動特性を付与する超精密マイクロ三次元形状を形成する加工技術の開発を着想するに至った。

## 2. 研究の目的

本研究開発では、我々がこれまで実施してきた吸引キャビテーション流を用いたマイクロ砥粒加工法に改良を加え、水晶ウエハに高周波振動特性を発揮し得る三次元形状を付与し、その生産に実用できうる超精密マイクロ砥粒加工技術を確立することを試みる。

そのためには、水晶ウエハを所期の三次元形状に加工するための吸引キャビテーション

流発生方式を明らかにする。特にキャビテーションを発生させるノズル形状およびノズル先端と水晶ウエハとのスタンドオフ、ならびに加工チャンバ形状、加工液の吸引量などの条件と加工形状、表面粗さなどの加工結果との関係をキャビテーション衝撃力の強度分布データの裏付けの基に明らかにする。また、その結果によって、キャビテーション衝撃による微粉砥粒の干渉効果を解明し、加工液の流動による微粉砥粒の運動に基づいた材料除去量の分布から水晶ウエハの仕上がり形状を予測する技術を確立する。

さらに、それぞれの条件で加工された水晶ウエハの振動特性を測定し、その仕上がり形状および加工精度と振動特性との関係を明らかにするとともに、所期の高周波振動が得られるウエハ形状に仕上げるための加工条件の制御方法を確立する。

## 3. 研究の方法

図1に反転流型吸引キャビテーション援用加工装置の概略を示す。水平に設置しウエハ ( $\phi$  12mm) に対して所定のクリアランスを設けた絞りノズルを設置し、アクリルパイプによって密封された加工槽内のスラリーを上方に吸引すると、加工槽内の流入パイプ先端の絞りノズルからスラリーが供給される。遊離砥粒を流入したスラリーは、ポンプで吸引されて、図中の矢印にそって装置内を循環する。さらに絞りノズルの下では、急激な圧力低下が生じ、その負圧によりキャビテーションが発生する。その結果、絞りノズルを通過したスラリー中の遊離砥粒はキャビテーション衝撃力によって基板表面に干渉する。また、加工進行中において絞りによって発生する配管内の負圧を確認するために圧力ゲージを取り付けた。また、ウエハの設置ステージをメカニカルシールを介してモータにより回転させる機構を組み込んでい

る。さらに、絞りノズルの位置をウエハの回転中心に対して半径方向に所定量オフセットさせた。

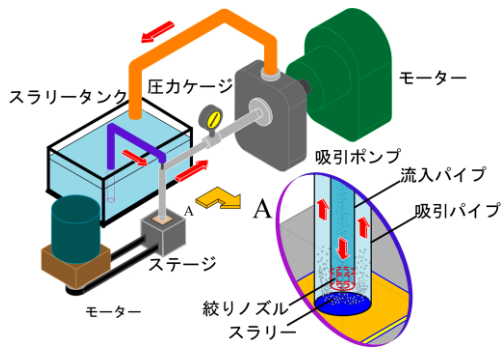


図1 実験装置の概略

図2に本研究で使用した実験装置の絞りノズルの直下におけるスラリーの流動状態を観察した結果を示す。なお、キャビテーションの発生を明確に捉えるため、ここでは遊離砥粒を混入していない水道水を、加工と同じ状態で吸引している。図からわかるように、流入パイプから流入した水には、ウエハとの間で多数の微小なキャビティが発生している。すなわち、流入パイプ先端の絞りノズルの直下では急激な圧力低下によりスラリーの圧力が飽和蒸気圧を下回ることによってキャビテーションが発生し、そのキャビティはスラリーの流動によってウエハ表面近傍に達している。このキャビテーションによる衝撃力とスラリーの流動によってスラリー中の遊離砥粒がウエハ表面に干渉し、加工効果をもたらす。

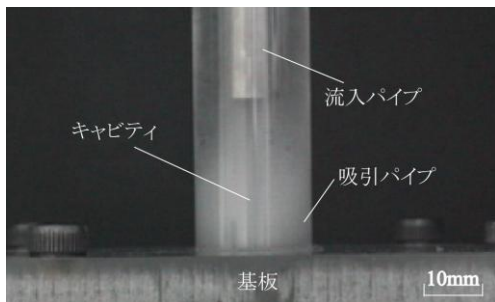


図2 キャビテーション発生を観察例

主な加工条件は、以下のとおりである。

スラリー：水道水+WA4000 (30%wt)

ワーク：ガラスウエハ (HV505,  $\phi 12\text{mm}$ ,  $t 1.5\text{mm}$ )

絞りノズル径  $d_n$  : 4mm

ノズルクリアランス  $C$  : 20mm

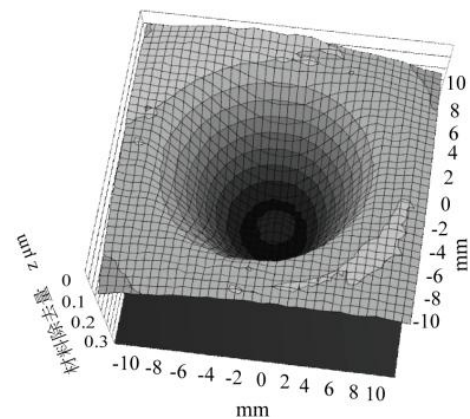
ノズルオフセット  $x_n$  : 0 - 6 mm

ワーク回転数  $N_w$  : 0 - 756 rpm

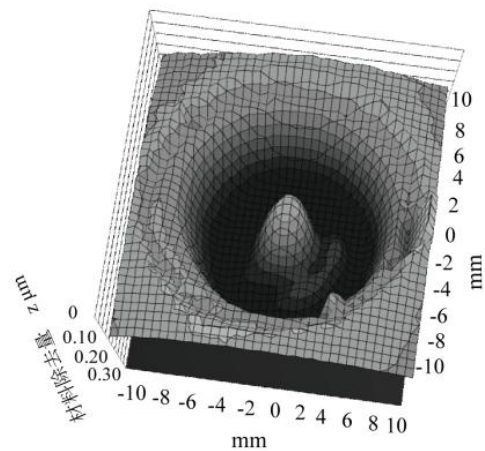
#### 4. 研究成果

(1) キャビテーションスラリー流による基礎的加工特性

図3は、ガラスウエハの加工領域周辺における加工量の分布を示すものである。図に示すように、加工領域は、クリアランス調整パイプ内径 ( $\phi 18\text{mm}$ ) よりわずかに小さいながら、絞り中心に対してほぼ対称に加工されていることがわかる。



(a)  $C=20\text{mm}$



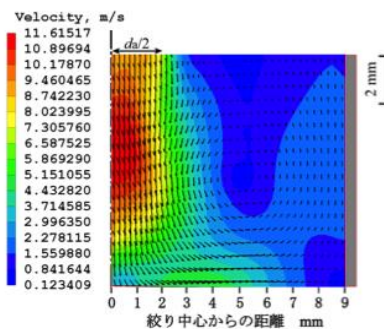
(b)  $C=10\text{mm}$

図3 加工量分布

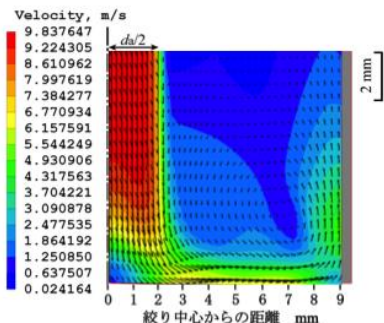
$C=20\text{ mm}$  の場合は、材料除去量は中心付近が最も大きく、クリアランス調整パイプ内壁から中央に向けて増大する。クリアランス  $C=10\text{ mm}$  の場合の加工量分布は、 $C=20\text{ mm}$  の場合に比べて加工領域が広くなり、加工槽の内径に相当する  $\phi 18\text{ mm}$  に及ぶが、加工領域の中央には、加工量の小さい部分が  $C=20\text{ mm}$  の場合よりも更に顕著に認められる。このように、ノズルクリアランスによって加工形態が支配されることがわかる。なお、絞り中心直下における材料除去量の減少は、スラリー流動におけるよどみ点の影響が強く現れるためと考えられる。

### (2) スラリー流動のシミュレーション

図4は、図3に示した加工量分布となる加工条件における加工槽内のウエハ表面近傍のスラリー流動をシミュレーションした結果である。



(a)  $C=20\text{ mm}$



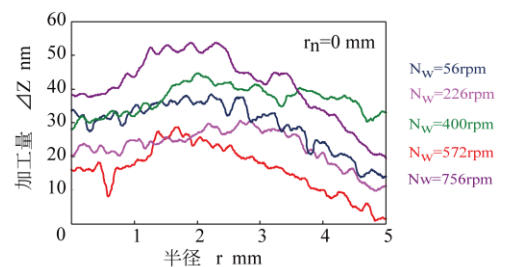
(b)  $C=10\text{ mm}$

図4 加工量分布

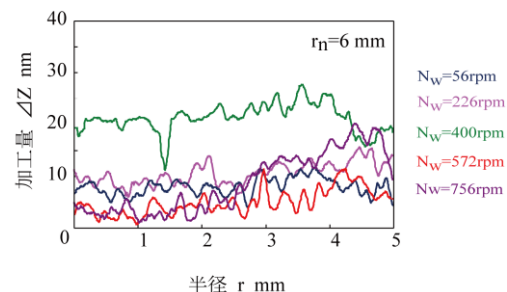
いずれも、ウエハ表面より上方10mmにおける加工槽内の流動を示している。図に示すように、 $C=10\text{ mm}$  の場合は、絞りノズル中央直下に流速の小さいよどみ点の存在することが認められ、このことが図3に示した加工領域中央部における加工量の減少の要因であると考えられる。 $C=20\text{ mm}$  の場合では、ウエハ表面近傍における流速が若干低下するもののよどみ点の発生は見られず、図3(a)の加工結果を裏付けている。

### (3) ワーク回転とノズルオフセットの効果

図5はノズルオフセット量  $r_n$  を  $0\text{ mm}$  と  $6\text{ mm}$  に設定した場合の加工量分布を示すものである。



(a)  $r_n = 0\text{ mm}$



(b)  $r_n = 6\text{ mm}$

図5 加工量分布の変化

$r_n=0\text{ mm}$  の場合は、ウエハ中心部付近での加工量が小さく、外側になるにつれて加工量は一旦大きくなるが、エッジ周辺部では減少している。これによって、表面形状は中心部がわずかに盛り上がったような形状となる。これは、前述のノズル直下でのよどみ点の存在を示唆しており、よどみ点でのスラリー流動の不安定さが加工形状に影響を与えたものと考

えられる。これに比べ、ノズルオフセット量  $r_n$  が6mmの場合は、加工量自体が若干減少するものの、ワーク中心部からエッジ近傍にわたって加工量がほぼ一定になっており、ノズルオフセットの適切に与えることで数十nmのレベルで加工精度の向上することがわかる。また、ワークを回転させることによって、図3に見られるような僅かな軸対称性の乱れが極めて高い精度で補正されることが明らかになった。

図6はノズルオフセット量と加工面全領域における平均の表面粗さとの関係である。ワーク表面粗さはZygo社3次元光学プロファイラNewView7300を用い、対物レンズ50倍、ズーム2倍で、ワークの回転中心から0.5mm間隔で測定を行い、 $0.07\mu\text{m} \times 0.05\mu\text{m}$ の測定範囲でのRa値で評価している。この図からわかるように、オフセット量が大きくなるにつれてワーク表面粗さが改善され、WA4000の遊離砥粒を用いながら、Raでナノメートルレベルの表面粗さが実現されている。

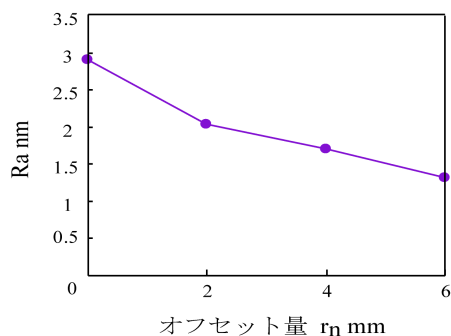


図6 オフセット量と表面粗さとの関係

これらのことから、ノズルクリアランス、オフセット等の加工条件を適切に設定することで高い精度の超精密加工が可能になることが明らかになったとともに、ウエハ表面にマスクを用いることで複雑形状の3次元加工の実現に発展させることも期待できる。

## 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2件)

① K. Ohashi, R. J. Wang, H. Hasegawa and S. Tsukamoto, Fundamental Study on the Precision Abrasive Machining Using a Cavitation in Reversing Suction Flow, Key Engineering Materials, 査読有, Vols. 389-390, 2009, pp.223-228

② K. Ohashi, S. Tsukamoto, T. Nakajima, Study on Cavitation Aided Abrasive Machining on Glass, Key Engineering Materials, 査読有, Vols. 407-408, 2009, pp 654-657

[学会発表] (計6件)

① 清水章広, 魯 楠, 大橋一仁, 塚本真也, キャビテーションを利用した金型のマイクロ砥粒加工法に関する研究, 日本機械学会中国四国支部第49期講演会, 2011年3月5日, 岡山市

② 中村裕之, 魯 楠, 大橋一仁, 塚本真也, 吸引キャビテーション流を利用したガラスの精密砥粒加工におけるワーク回転とオフセットの効果, 日本機械学会中国四国支部第49期講演会, 2011年3月5日, 岡山市

③ 大橋一仁, 硬脆材料の微細研削・砥粒加工技術, ミクロものづくり大学, 2010年7月28日, 岡山市

④ 魯 楠, 大橋一仁, 塚本真也, 反転吸引キャビテーション流を利用した精密砥粒加工法の基礎的研究(第2報)-加工条件による加工特性の変化-, 2009年11月21日, 下関市

⑤ K. Ohashi, S. Tsukamoto, T. Nakajima, Study on Cavitation Aided Abrasive Machining on Glass, Key Engineering Materials, ICPMT2009, 2009.4.26, 中国・昆明

⑥ K. Ohashi, R. J. Wang, H. Hasegawa and S. Tsukamoto, Fundamental Study on the

Precision Abrasive Machining Using a  
Cavitation in Reversing Suction Flow,  
ISAAT2008, 2008.10.1, 淡路市

○出願状況 (計4件)

①名称：表面処理方法及びその装置

発明者：大橋一仁，塚本眞也，長谷川裕之

権利者：国立大学法人 岡山大学

種類：特許

番号：200880105442.5

出願年月日：2010年5月4日

国内外の別：国外

②名称：表面処理方法及びその装置

発明者：大橋一仁，塚本眞也，長谷川裕之

権利者：国立大学法人 岡山大学

種類：特許

番号：10-2010-7005785

出願年月日：2010年3月16日

国内外の別：国外

③名称：表面処理方法及びその装置

発明者：大橋一仁，塚本眞也，長谷川裕之

権利者：国立大学法人 岡山大学

種類：特許

番号：特願2009-531223

出願年月日：2010年3月9日

国内外の別：国内

④名称：表面処理方法及びその装置

発明者：大橋一仁，塚本眞也，長谷川裕之

権利者：国立大学法人 岡山大学

種類：特許

番号：12/676,255

出願年月日：2010年3月3日

国内外の別：国外

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

大橋 一仁 (OOHASHI KAZUHITO)

岡山大学・大学院自然科学研究科・准教授

研究者番号：10223918

(2)研究分担者

塚本 眞也 (TSUKAMOTO SHINYA)

岡山大学・大学院自然科学研究科・教授

研究者番号：80163773