

平成 2 2 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「大口径シリコンウエハの極薄化に対応した高精度切削加工技術の研究開発」

## 研究開発成果等報告書

平成 2 3 年 1 1 月

委託者 関東経済産業局

委託先 ミクロ技研株式会社

## 研究成果報告書 目次

第1章	研究開発の概要		
1	研究開発の背景及び目的	・・・	2
2	研究の概要	・・・	2
3	研究体制	・・・	4
4	成果概要	・・・	8
第2章	衝撃防止砥石の開発並びに低速・低加圧用ポーラス樹脂砥石の開発 (メゾテクダイヤ株式会社、学校法人五島育英会 東京都市大学)		
1	本開発の趣旨	・・・	9
2	開発砥石の種類	・・・	9
3	砥石の各種挙動	・・・	11
4	研究成果	・・・	14
第3章	低速・低加圧用研磨装置の開発(マイクロ技研株式会社)		
1	本開発の趣旨	・・・	15
2	新型研磨機構の概要	・・・	15
3	新型研磨機構の試作	・・・	16
4	研究成果	・・・	17
第4章	新型砥石を搭載した開発装置の評価(マイクロ技研株式会社)		
1	研磨仕上げ面粗さ	・・・	18
2	研削比	・・・	19
3	破碎層深さ	・・・	19
4	Si-ウェーハの薄板化実験	・・・	21
5	チップ抗折強度	・・・	22
6	Gettering 試験	・・・	22
7	研究成果	・・・	23
第6章	全体総括		
1	全体総括	・・・	24
2	事業化に向けた取り組み	・・・	25
	参考文献	・・・	26
	データ集	・・・	27
	用語解説	・・・	31

## 第1章 研究開発の概要

### 1-1 研究開発の背景及び目的

半導体業界向けウェーハは大口径化と極薄化が進み、現在、ウェーハの裏面の鏡面加工はスラリー研磨による高加圧方式が採用されている。しかしながら、ウェーハ破損や配線へのスラリー染み込みなどの課題がある。本研究開発の目的は、衝撃防止構造砥石、ポラス樹脂ダイヤモンド砥石及び低速・低加圧での研磨が可能な装置を開発して現状の課題を克服し、かつスラリー廃液処理の必要がない環境に配慮した高精度切削加工技術を確立することである。

### 1-2 研究の概要

#### (研究の概要)

情報通信機器は小型化、高機能化、多機能化等の進展により半導体パッケージの3次元実装技術の開発が進み、ウェーハを数十 $\mu\text{m}$ のレベルまで極薄化し実装されている。極薄化するほどウェーハは破損しやすいので、研削加工ダメージの除去を目的にしたストレスフリープロセスの導入が必要とされている。大口径ウェーハの極薄加工では、これまでスラリー研磨による加工方式が取られていたが、多層配線の極薄ウェーハでは、新たな切削加工方法の確立が求められている。そこで、極薄ウェーハでのチップ発生を防止し、チップ強度も向上させ、かつゲッターリング効果をも付与させる方法として、低速・低加圧で鏡面加工が可能で大口径ウェーハにも対応できる高精度切削加工技術の開発を行う。これにより、情報通信機器の小型化・高機能化・多機能化を実現する半導体パッケージの高密度実装及び低コスト化に資する新たな切削加工技術の確立を目指す。

#### (実施内容)

衝撃防止構造砥石の開発（メゾテクダイヤ株式会社、学校法人五島育英会 東京都市大学）

単層砥石と同列に樹脂を4個入れた衝撃防止構造砥石の構造における実験的検討を行い、目標とする加速度、チップ強度などの達成を図る。

低速・低加圧用ポラス樹脂砥石の開発（メゾテクダイヤ株式会社、学校法人五島育英会 東京都市大学）

本研究開発では、現在のスラリー研磨に代わる方法として、低速・低加圧の研削・研磨を可能とし、チップ強度の高いウェーハを実現するポラス樹脂砥石を開発する。このポラス樹脂砥石は、微細ダイヤモンドと発泡材を混合・成形し、焼成して製作する。発泡材が膨張して多孔質となるため、微細ダイヤモンド（又はメカノケミカル反応を利用したセリア・アルミナ等）と、発泡材の混合比・成形・焼結条件などの最適化を行う。これにより、金属汚染対策としてゲッターリング効果を持たせ、チップ強度は0.6KPa以上の強度を確保し、ウェーハの最大表面粗さ（ $R_t$ ）が40nm以下とすることを目標とする。また、神奈川県産業技術センターにおいて、シリコン表面のゲッ

タリング効果についてシリコン表面ダメージを測定する。

低速・低加圧用装置の開発（マイクロ技研株式会社）

現在の全自動研削装置は、研磨時の加圧が 5Kpa が限界であり、ポラス樹脂砥石が破損する現象が発生しやすい。そのため、新規のポラス樹脂砥石の搭載が可能なように低速・低加圧方式の開発・評価を行う。

1) 安定した超低加圧制御の開発：0.1 Kpa 以下の制御

高精度な圧力制御機器・制御方式により 0.1 Kpa 以下の制御を可能とする。

2) ウェーハ接触時の衝撃防止技術の開発

低速・低圧で鏡面加工できる砥石の開発と並行して衝撃防止構造を有する装置開発を行う。砥石衝撃防止の対策としてトルク検知方式を検討する。また、トルクが上昇したら砥石がウェーハに接触したと認知すると同時に、砥石には 0.5Kpa 前後の圧力接触する衝撃防止システムを開発する。

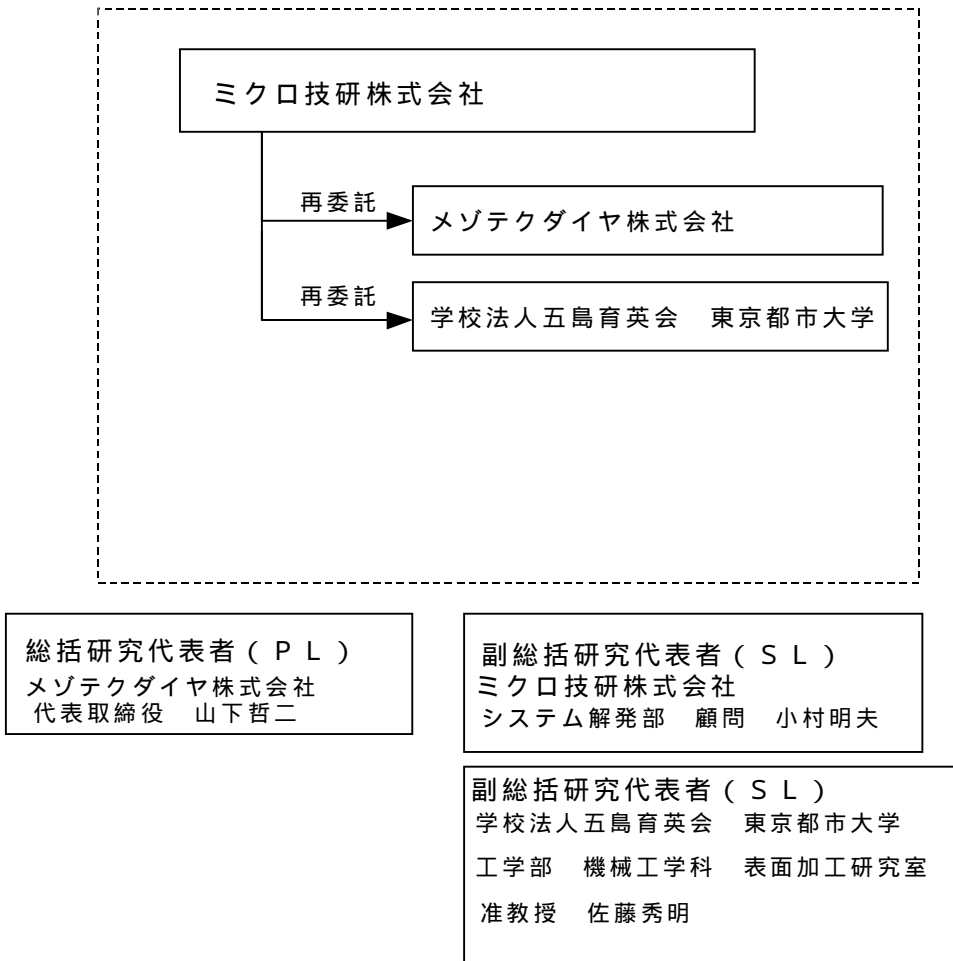
3) 新規砥石（衝撃防止砥石、ポラス樹脂砥石）を搭載した開発装置の評価

開発した新規砥石と装置により、極薄ウェーハの研削実験を実施する。仕上げ研削工程は衝撃防止砥石で行い、ポリシング工程はポラス樹脂砥石で 30 μm の大口径ウェーハで歩留まり 100% を目標とし、加工後のウェーハ加工面のキズ・微細クラック等の確認、大きさ測定等及び粗さ計測・極薄化加工ウェーハの厚み測定等による実験データ収集を行う。

1 - 3 研究体制

3-1 研究組織及び管理体制

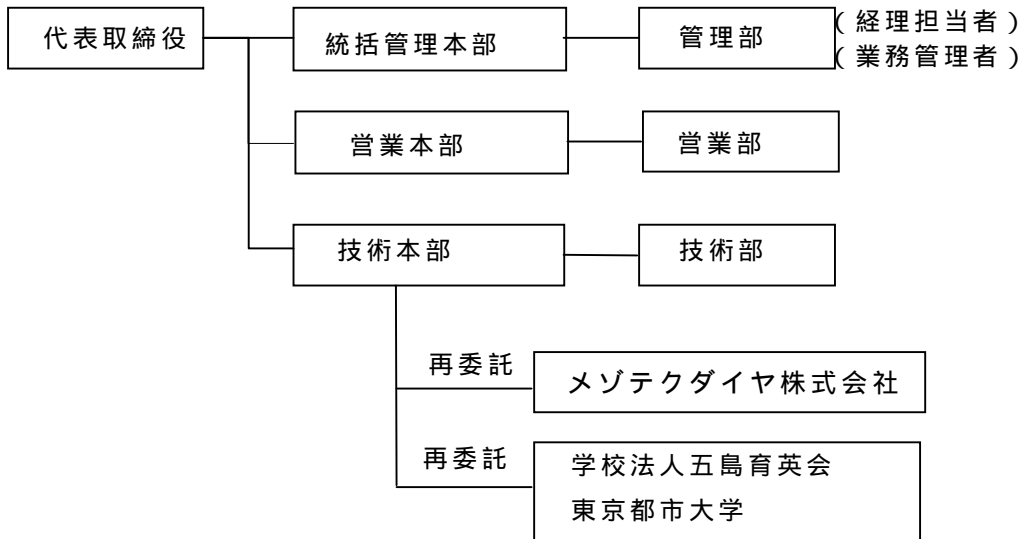
1) 研究組織(全体)



2) 管理体制

事業管理機関

[ ミクロ技研株式会社 ]

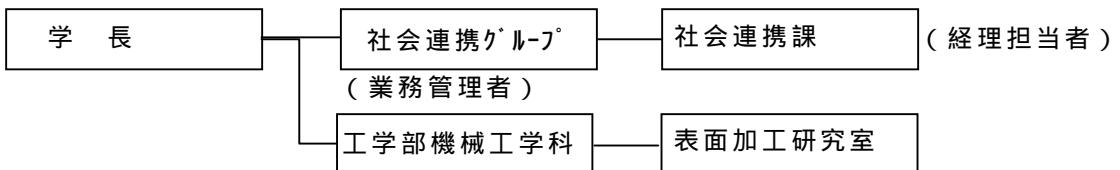


再委託先

[ メゾテクダイヤ株式会社 ]



[ 学校法人五島育英会 東京都市大学 ]



3) 管理員及び研究員

【事業管理機関】ミクロ技研株式会社

研究員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
小村 明夫	システム開発部・顧問	
雨宮 好夫	営業本部・執行役員	
伊丹 嘉治	制御設計部・取締役	-1
黒田 勝俊	制御設計部・課長	-1
彼末 雄司	プロセス技術部	-3
中山 浩一	プロセス技術部	-3
迫田 仁	プロセス技術部	-3
並木 秀雄	製造部・執行役員	-2
吉川 誠一郎	製造部	-2
上村 圭司	製造部	-2

管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
山川 昌則	統括管理本部	
松下 司	統括管理本部	

【再委託先】

(研究員)

メゾテクダイヤ株式会社

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
山下 哲二	代表取締役	
山下 敦子	管理部・技術開発部	
片倉 幸雄	技術開発部	

学校法人五島育英会 東京都市大学

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
佐藤 秀明	工学部 機械工学科 表面加工研究室 准教授	

4) 他からの指導・協力者

研究開発推進委員会 委員

氏名	所属・役職	備考
山下 哲二	メゾテクダイヤ株式会社 代表取締役	委 PL
小村 明夫	ミクロ技研株式会社 システム開発部 顧問	委 SL
佐藤 秀明	学校法人五島育英会 東京都市大学 工学部 機械工学科 表面加工研究室 准教授	SL
安永 暢男	学校法人東海大学 非常勤講師	アドバイザー
下田 潔	株式会社日立プラントテクノロジー モノづくり統括本部 PM推進センター長	アドバイザー
中村 秀一	株式会社サンテック 営業技術部部长	アドバイザー
三橋 雅彦	神奈川県産業技術センター 電子技術部(兼)材料技術部	アドバイザー
松本 浩造	一般社団法人首都圏産業活性化協会 研究開発担当	アドバイザー

5) 研究開発の管理・運営

- ・ 事業管理者・ミクロ技研株式会社において、本研究開発の管理を行った。また、研究開発の研究経緯と成果についての取りまとめ、成果報告書の作成をおこなった。
- ・ 本研究の実用化に向けた到達の度合いを検証するとともに、事業化に向けての課題等について研究実施者と調整を行った。
- ・ 研究開発推進委員会を平成 23 年 3 月及び 6 月の 2 回開催し、各担当課題の進捗状況の報告を行い、委員の方々より適切なアドバイスを頂いた。

3-2 当該研究開発の連絡窓口

総括研究代表者(PL) : メゾテクダイヤ株式会社  
 : 代表取締役 山下哲二  
 : 〒243-0025 神奈川県厚木市上落合 417-3  
 : 電話 046(226)1336 : FAX 046(226)1237

事業管理者 : ミクロ技研株式会社  
 : 統括管理本部 総務部 部長 山川昌則  
 : 〒103-1105 東京都中央区日本橋箱崎町 18-11  
 : 電話 03(3668)8132 : FAX 03(3668)8134



#### 1 - 4 成果概要

本研究開発は実質的な開発期間が短期間であったが、種々の成果を出す事ができた。ただし、量産的な実証試験ができなかったが、平成 24 年 5 月までメゾテクダイヤ株式会社及びミクロ技研株式会社にて開発を推進して技術確立をする予定である。

本研究開発の目標値は以下のとおりである、項目ごとの達成度は以下である。

- |                           |           |
|---------------------------|-----------|
| ( ) 衝突突防止構造砥石の試作          | 【達成度：90%】 |
| 衝突防止砥石の構造と加速度の減少          | 達成度：100%  |
| 衝突防止砥石とシリコンウェーハ表面粗さの改善    | 達成度：80%   |
| <br>                      |           |
| ( ) ポーラス樹脂砥石の試作           | 【達成度：90%】 |
| 樹脂の最適化                    | 達成度：70%   |
| 耐久性を目指した砥石の最適構造化          | 達成度：90%   |
| スラリーレスでの研削                | 達成度：100%  |
| <br>                      |           |
| ( ) 低速・低加工圧装置の試作          | 【達成度：90%】 |
| 軟質砥石に対応した低速、低圧でソフトタッチ     |           |
| 可能な加工ヘッドを装備した研削装置の試作      | 達成度：100%  |
| 新規砥石を搭載した研磨機能の評価          | 達成度：80%   |
| a) 表面粗さの評価                | 達成度：100%  |
| b) 抗折試験評価                 | 達成度：70%   |
| c) Gettering 効果の評価（評価継続中） | 達成度：60%   |

## 第2章 衝撃防止砥石の開発並びに低速・低加圧用ポーラス樹脂砥石の開発 (メゾテクダイヤ株式会社、学校法人五島育英会 東京都市大学)

### 2-1 本開発の趣旨

現在の研削現業部門で使用されている仕上げ用ポーラス樹脂砥石は強度が脆弱で研削比も非常に小さく、ユーザから長時間の連続使用に耐える生産効率の高い砥石開発が望まれている。【資料1】

本開発では砥石強度の向上に加えて、表面粗さや破碎層深さ及び研削比に影響を及ぼすとされる研削面での衝突現象を低減できる衝突防止構造砥石の試作もおこなった。

下記が主な開発項目である。

- ( ) 衝突防止構造砥石の試作
  - \* 衝突防止砥石の加速度の減少
  - \* 衝突防止砥石の表面粗さ改善
- ( ) ポーラス樹脂砥石の試作
  - \* 樹脂の最適化
  - \* 耐久性を目指した砥石の最適化構造

### 2-2 開発砥石の種類

表 2-1 は試作砥石の一覧表であり、写真 2-1 は外観写真である。

衝撃防止砥石：ビトリ SD5000 + フェノール SD8000 (気孔率 30%)

上記以外は、ポーラス樹脂砥石

砥粒	結合剤	気孔率(%)
SD#2000	フェノール	0
SD2000	フェノール	30
SD2000	フェノール	50
SD5000	ビトリ	30
SD8000	フェノール	30
SD8000	フェノール	50
SD8000	フェノール	65
SD8000	メラミン	30
SD8000	メラミン	50
SD8000	メラミン	65
SD8000	ビトリ	30
SD8000	ビトリ+樹脂含浸	

表 2-1 試作砥石 (空孔型)

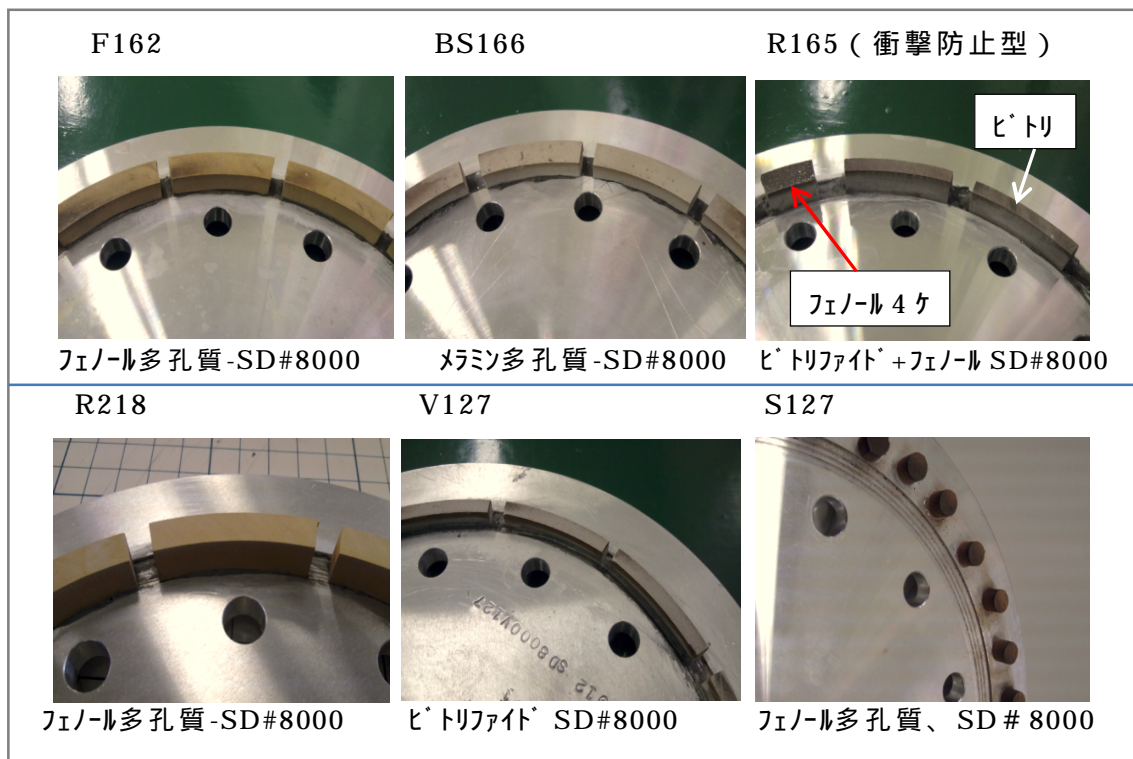


写真 2-1 外観写真(砥石外径 : D= 176, 面幅 : B=5 ~ 7.5mm)

## 2 - 3 砥石の各種挙動

### 2-3-1 砥石強度

図 2-1 は砥石種と強度の相関である。本開発で試作された各種の砥石は、現在、市場で使用されているポリビニール樹脂(PVA)よりも曲げ強度・弾性率共に大幅に改善されているが、気孔タイプは曲げ強度： $\sigma$ 、弾性率：Eが気孔無しよりも低下している。

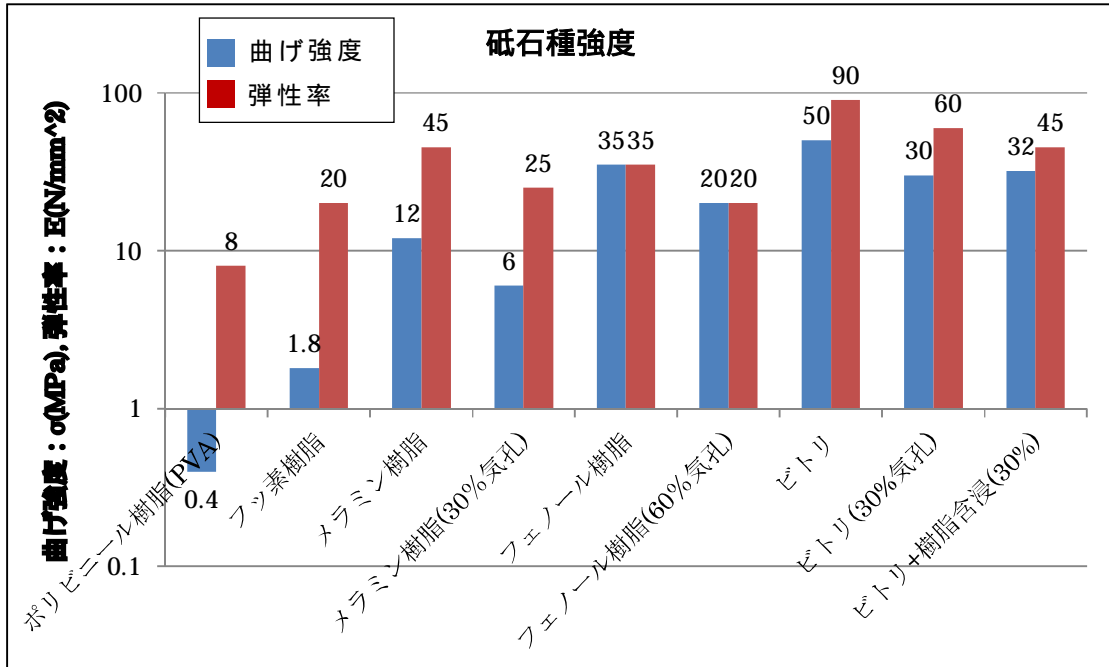


図 2-1 砥石種と強度相関

### 2-3-2 研削加工特性

図 2-2 は研削除去量と加速度の相関である。加速度は加速度計を砥石回転軸の近辺に設置して測定した。この結果、研削除去量が活性である場合、振動現象も活性化している。図 2-3 は砥石種と研削除去量及び加速度との相関である。このグラフよりビトリボンド砥石の研削除去量が突出して優秀であった。

衝突防止砥石（ビトリ+フェノール）は他砥石と比較して加速度の低下傾向が見られる。

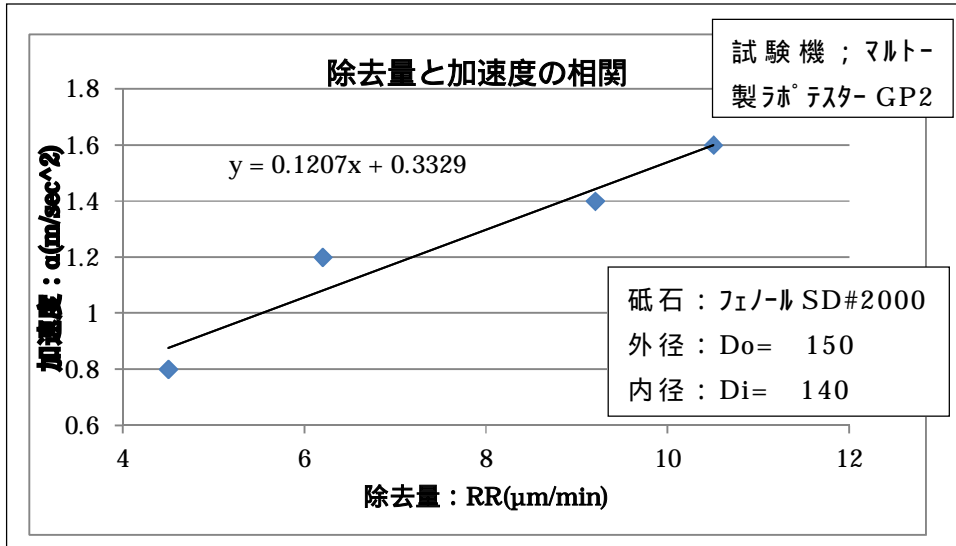


図 2-2 研削除去量と加速度の相関

研磨試験機は定圧式研磨試験機を使用した。

【加工条件】

- \* 砥石回転数 :  $N=2000$  (rpm)
- \* 周速 :  $V=785(\text{m}/\text{min})$
- \* ウェーハ : 8"
- \* ウェーハ 回転数 :  $N= 40(\text{rpm})$
- \* 面圧 :  $P=86$  ( $\text{gf}/\text{cm}^2$ )

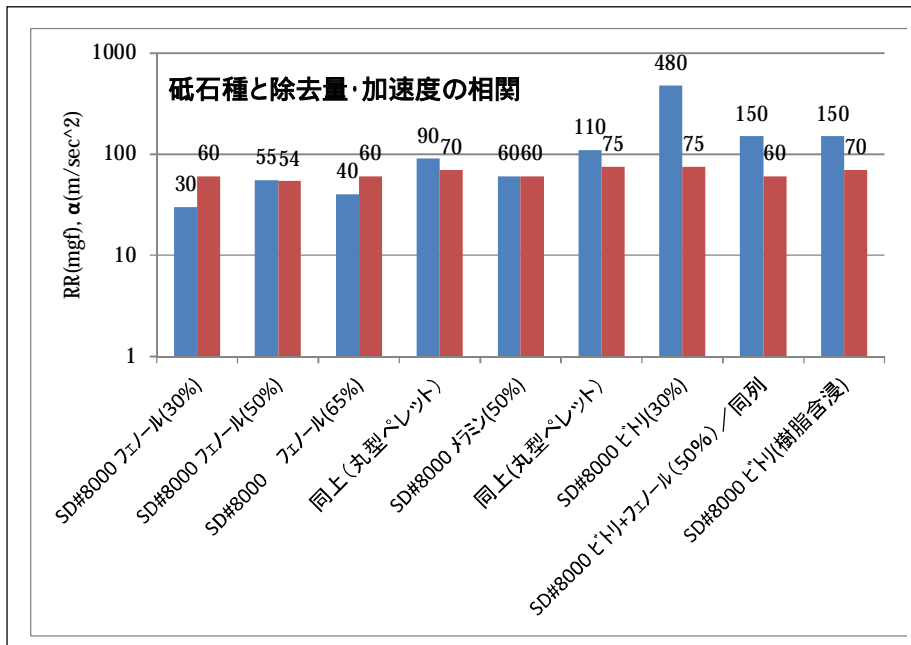
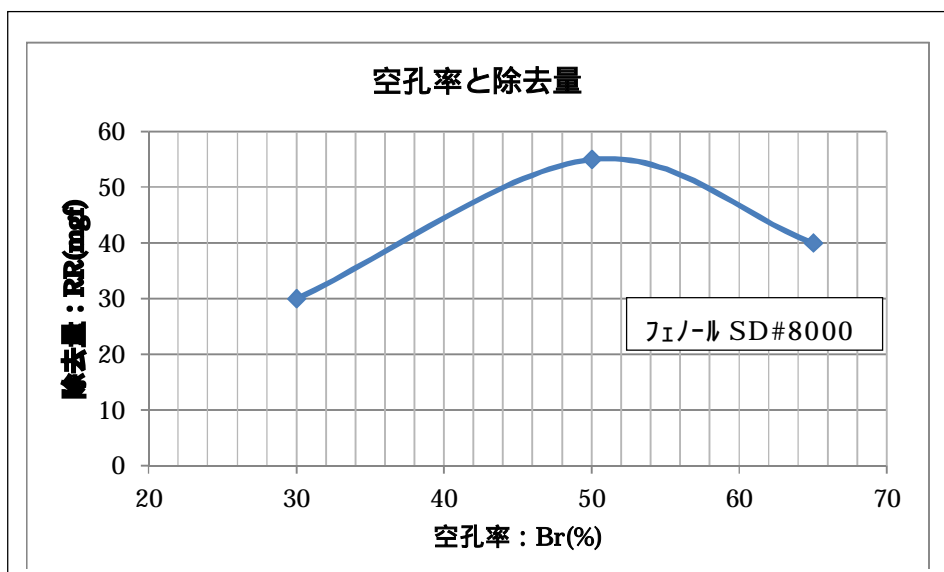


図 2-3 砥石主種と研削除去量及び加速度の相関

【加工条件】 同上

### 2-3-3 空孔率と除去量

図 2-4 は空孔率と研削除去量の相関であり、空孔率：Br=50%にピーク点のある事が判明した。



2-4 空孔率と研削除去量

【加工条件】同上

図 2-5 は研削砥石軸切込み量： $\phi=0.2\text{mm}$ より を開放させた場合の空孔率と弾性回復量の相関である。この実験はモータ電流値の計測で判断した。この結果、空孔率：B が大きいほど弾性回復量の多い事が判明した。(バネ定数が小さいと判断できる)

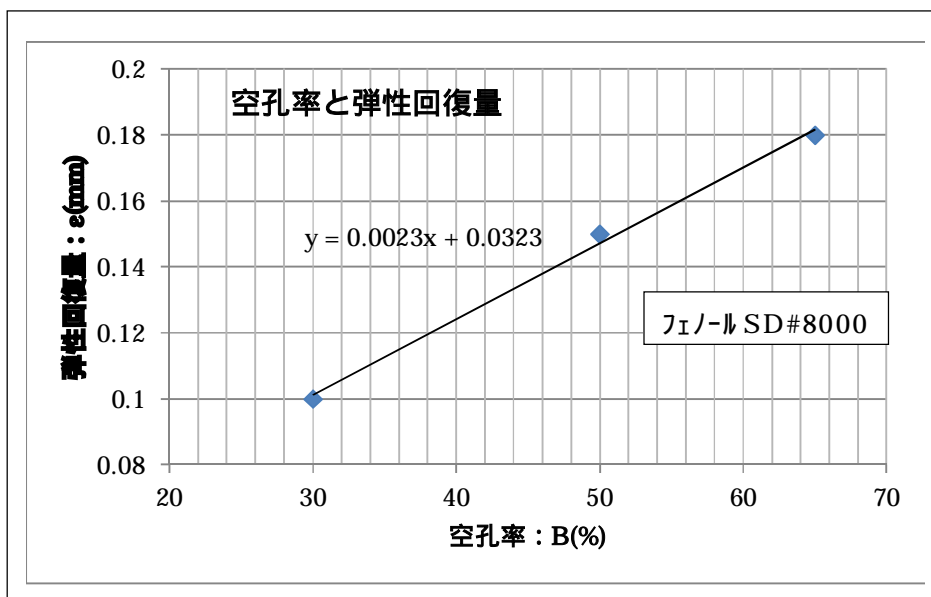


図 2-5 空孔率と弾性回復量の相関

【加工条件】同上

### 2-3-5 弾性率と仕上げ面粗さ

図 2-6 弾性率と表面粗さの相関であるが、弾性率：E の低い方が表面粗さ：Ra が小さくなる事が判明した。

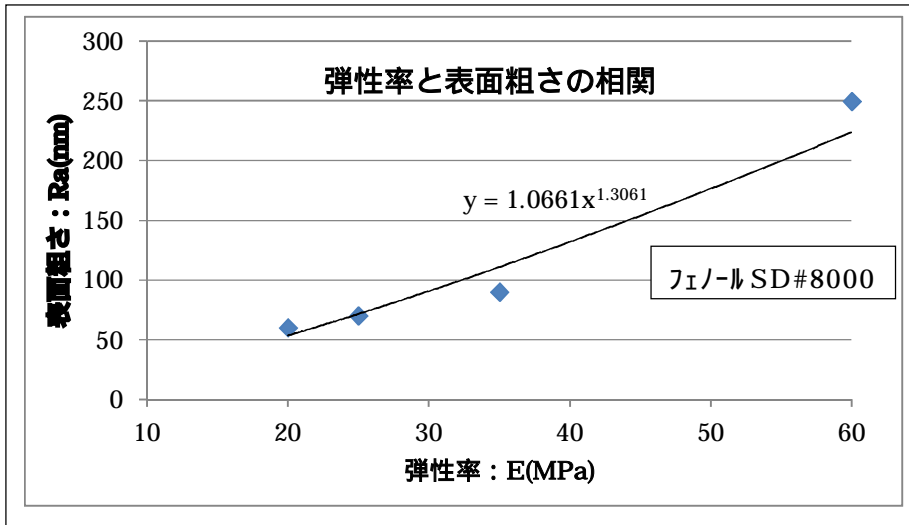


図 2-6 弾性率と表面粗さの相関

【加工条件】同上

## 2 - 3 研究成果

上述の如く、第 2 章では以下の結論を得た。

### 1) ポーラス樹脂砥石

\* これまでのポーラス樹脂の空孔率：Br 10% であったが、本開発では Br > 30% で実施した。その結果、研削効率の低下、弾性回復量の増大化現象が生じ、弾性回復量の小さなビトリ系砥石とのコンビネーション効果が低下した。

### 2) ビトリファイド系砥石

\* 本砥石はセラミックス系であり、従来は大気中で 1300 にて焼成されているが、ダイヤモンド砥粒の耐熱温度よりも高温であるため、真空中で 1000 以下の焼成技術に成功し、新製品が完成した。

\* 研削効率が最高クラスで、加速度値も小さい事が判明した。

### 3章 低速・低加圧用研削装置の開発 (ミクロ技研株式会社)

#### 3-1 本開発の趣旨

現在生産に使用されている全自動式研削装置には電空圧シリンダーの加工荷重調整機能が付加されているが、300 ウェーハに対しては加工面圧：P の下限値は  $P = 5 \text{ kPa} (50 \text{ gf/cm}^2)$  である。

この値では低強度のポラス樹脂砥石のヒール研削加工では破損発生比率が高い状態となっている。本開発では、下記の諸機能を装備し、新規開発のポラス樹脂砥石での研削が可能な低速・低加工圧方式の研磨機構の開発・評価を実施した。

安定した超低加工圧制御機構：

高精度な制御方式による  $P=0.1 \text{ kPa} (1 \text{ gf/cm}^2)$  以下の制御が可能な機構。

砥石とウェーハの接触時の衝撃防止機構

ソフトランディング時の接触面圧： $P = 0.5 \text{ kPa} (5 \text{ gf/cm}^2)$  で機能できる機構。

#### 3-2 新型研磨機構の概要

新型研磨機では、軟質砥石がウェーハ基板に軟着地する場合のミクロン観点での点接触を想定し、局部的なヘルツ応力での欠損を防止するための機構を検討した。

図 3-1 はそのモデル図である。

(1)砥石ユニットはフラットモ - タ内径軸に取り付けられている。

モ - タ支持枠とモ - タ外形ケ - ス間にはスライドボ - ル軸受と荷重バネが挿入されている。

(2)モ - タ支持枠はモ - タ駆動されるボ - ルネジでボ - ルガイドに沿って上下運動する。

(3)砥石内径軸には軸受が挿入され、軸受内輪には球状軸受が挿入されている。

(4)球状軸受にはロ - プが結合され、ロ - プは滑車を介してバランスウエイトに結合されている。

(5)バランスウエイトは「砥石ユニット+モ - タ支持枠」とバランスしている。

(6)試作機ではバランスウエイト側を+ W 重くし、非加工時は砥石が基板と接触しない機構としている。また、バネは強弱の2種類を使用し、低・高圧荷重の選択が可能である。

(7)バランス状態からボールネジでモ - タ支持枠を下方向に駆動させると弱バネ圧縮荷重でフラットモ - タ系がバランスウエイトと均衡状態で降下し、ウェーハ 基板に軟着陸できる。



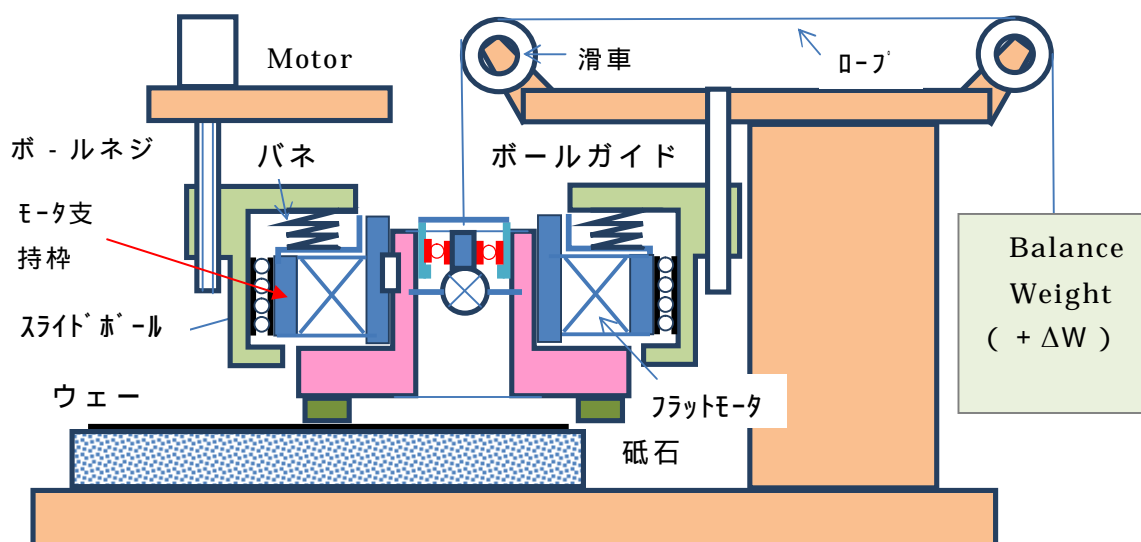


図 3-1 新型研磨機構のモデル図

### 3 - 3 新型研磨機構の試作

写真 3-1 は新型試作研磨機の外観写真、写真 3-2 は 3 軸研磨機への装着状態であり、下部の真空チャックでウェーハを保持している。

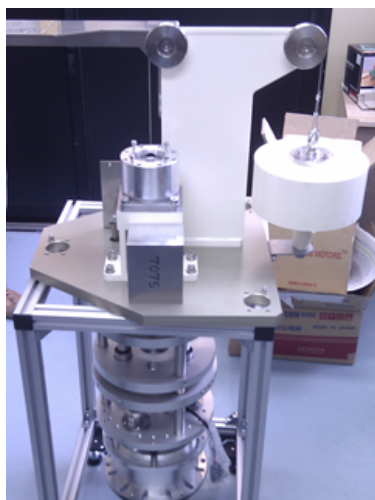


写真 3-1 新型研磨機の外観写真



写真 3-2 研磨機の自動機装着状態

新型研磨機の仕様は下記である。

- 1 ) モ - タ : NSK, M-SP3030KN002, トルク/10N-m, 回転数/300m<sup>-1</sup>
- 2 ) カウンタ - ウェイト : W=19.2(kgf)
- 3 ) 使用バネ : 弱バネ定数/  $k_1=50(\text{gf}/\text{mm})$ , 強バネ定数/  $k_2=300(\text{gf}/\text{mm})$

- 4) Z軸送り： $Z_v = 0.1 \sim 0.2$  (mm/sec)
- 5) 新型研磨機は弊社製の自動研磨テスト機（300用）の第3軸に設置される。  
機種は立軸回転型で第1軸：粗研磨(#400),第2軸：中仕上げ(#2000)である。
- 6) 砥石径外径： $d = 176$ (mm)、研削対象ウェーハ外径： $D = 300$ (mm)

図 3-2 は試作した新型研磨機構でのバネ変位荷重線図である。荷重測定にはロードセル（東洋測器 UPL-800L）を使用した。

変位：Z 3mm では弱バネが作用し、Z 3mm では主に強バネが作用しており、本機構では砥石とウェーハの初動接触時はゼロ荷重である。

この線図より、上記の目標課題である 超低加工圧制御、砥石とウェーハの接触時の衝撃防止がクリア - できる事が理解できる。

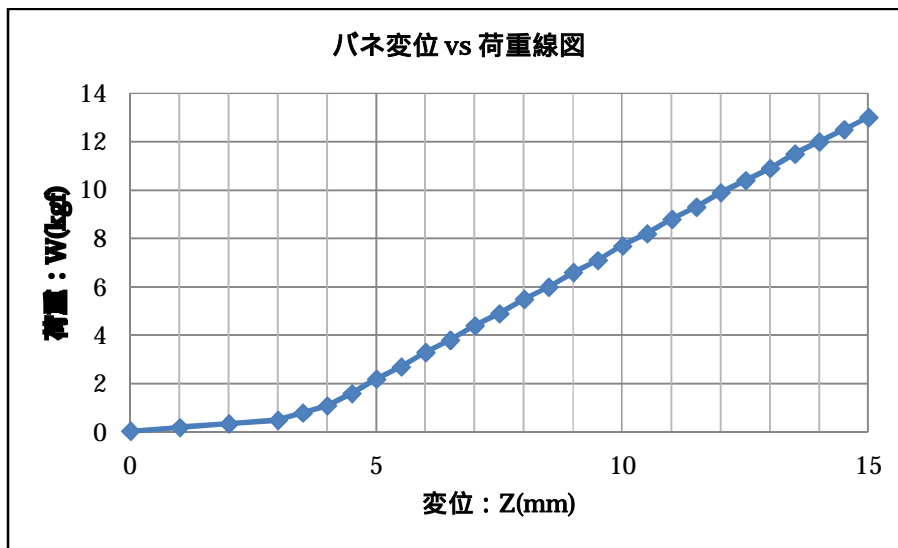


図 3-2 バネ変位荷重線図

### 3 - 4 研究成果

上述の如く、第3章では以下の結論を得た。

- 1) 低速・低加工圧研磨機の新機構を試作し、  
超低加工圧制御、砥石とウェーハの接触時の衝撃防止が実現できた。

## 第4章 新型砥石を搭載した開発装置の評価

### (ミクロ技研株式会社)

#### 4-1 研磨仕上げ面粗さ

新機構での研磨特性では#8000 砥石で数 nm の仕上げ面が得られる砥石種と加工条件を探索した。表 4-1 は砥石名称と結合材種及びダイヤモンド粒種、表 4-2 実験番号と加工条件である。

L4 : PVA 【砥石は全て多孔質 / SD8000】

BS166 : Melamine-1                      BF162 : Phenol

R218 : Phenol                              R165 : Hybrid (Vitrified & Phenol)

V127 : Vitried

: Phenol ( 形状 ) / 【他は矩形状】

表 4-1 砥石名称と結合材種及びダイヤモンド粒種

実験 No.	砥石種	砥石回転数	ウェー八回転数	荷重	加工時間
		N (rpm)	n (rpm)		
1	L4	360	300	12.5	1.5
2	L4	40	50	1.0	5
3	L4	40	50	5.0	5
4	BS166	40	50	1.0	5
5	BS166	40	10	1.0	10
6	BS166	40	50	1.0	15
7	BF162	40	50	.01	5
8	BF162	40	10	1.0	10
9	BF162	40	50	1.0	15
10	R218	40	50	1.0	5
11	R218	40	10	1.0	10
12	R218	40	50	1.0	15
13	R165	40	50	1.0	5
14	R165	40	10	1.0	10
15	R165	40	50	1.0	15
16	V127	40	50	1.0	5
17	V127	40	10	1.0	10
18	V127	40	50	1.0	15
19	V127	40	50	1.0	15
20	V127	40	50	1.0	25
21	V127	40	150	1.0	15
22	Dry				

表 4-2 実験番号と加工条件 (研削水 : フィルター濾過市水)

実験でのテストウェーハはフェノール#2000 砥石で研削し、仕上げ面は 20nmRa 前後の物を使用した。図 4-3 は仕上げ面粗さの実験結果である。平均的には 10nmRa の鏡面仕上げを創成したが、ビトリ系で 5nmRa の仕上げ粗さも創成できた。【資料 2】

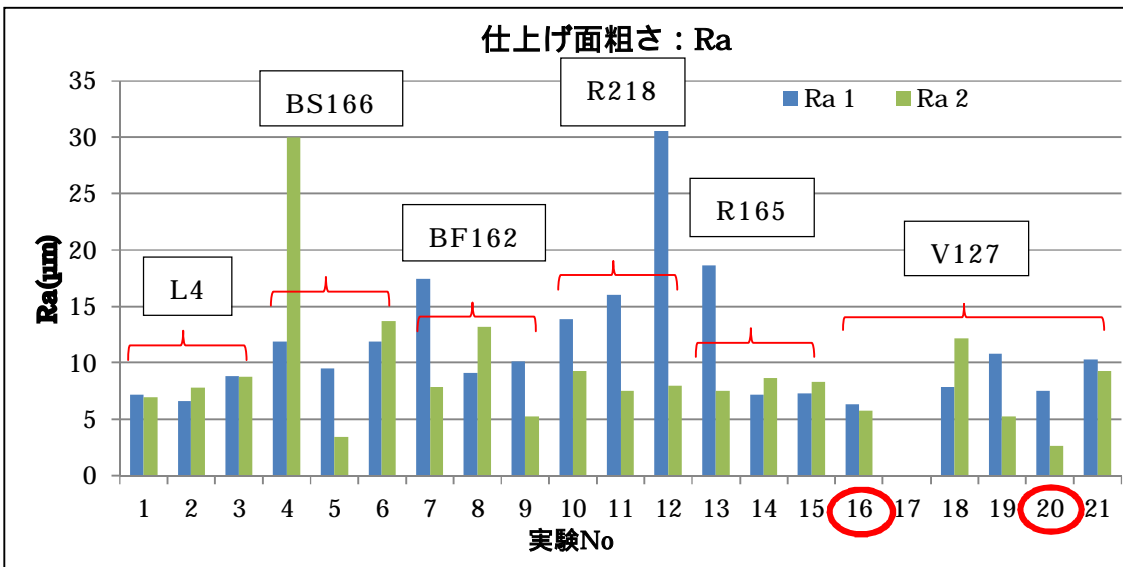


図 4-3 仕上げ面粗さの実験結果

#### 4 - 2 研削比

生産現場では研削比：( 工作物研削量 / 砥石減耗量 ) の大きな砥石及び加工条件が求められるが、本研削条件では全般的に樹脂ボンド系砥石は研削量が少なく、すぐに切れ味が減少し、樹脂材と Si 面の接触によると想定される薄茶色系の薄膜がコーティングする現象が生じた。研削比も小さく、研削量： =1 μ m Max であった。

しかし、ビトリファイド系では、コーティング現象が見られず、研削面圧や研磨速度を大きくすれば研削比が大きくなる兆候が表れた。

#### 4 - 3 破碎層深さ

Si-ウェーハ 薄板加工において、本実験では既存の 3 軸自動送り型の研削機を使用している。

本開発の低速・低圧研磨ユニットは第 3 軸に取り付けられているが、第 3 軸加工は最終仕上げ加工軸であり、最小研削量での仕上げが望ましい。最小研削加工には前加工面の破碎層深さの観察が必要である。

図 4-4 は第 1 軸 ( #400 ) と第 2 軸 ( #5000 & #2000 ) ( #2000 ) における砥石軸送り： Vz ( μ m/sec ) を変化させた時の破碎層深さ： H のグラフである。【資料 3 , 4 , 5】

研削加工条件は砥石軸回転数： N=2,000(rpm)、ウェーハ軸回転数： n=300(rpm)である。

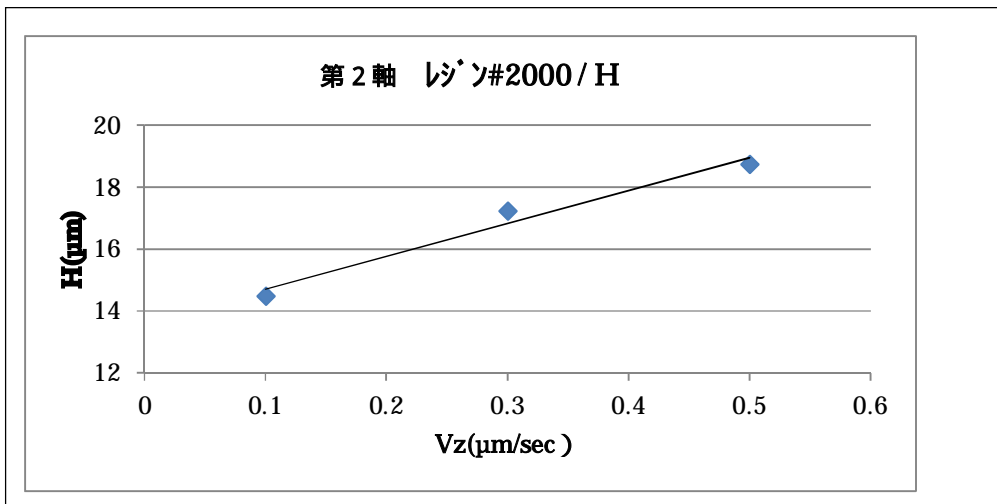
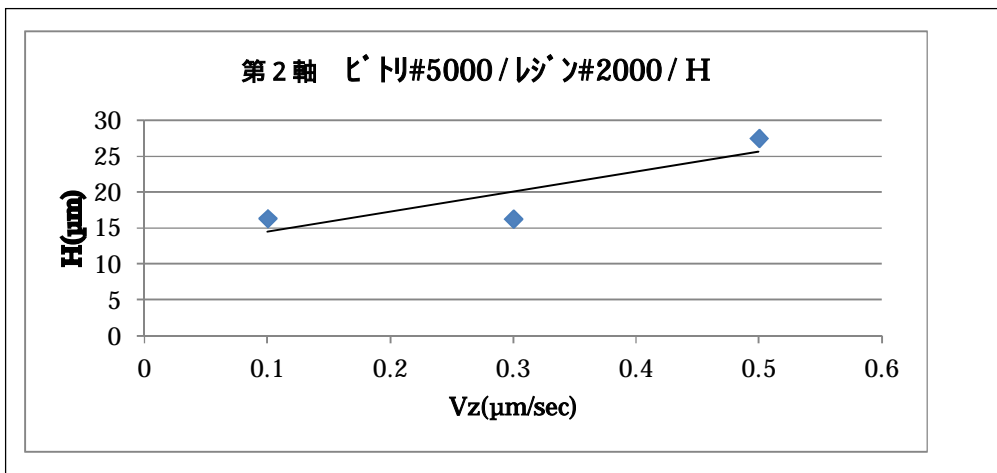
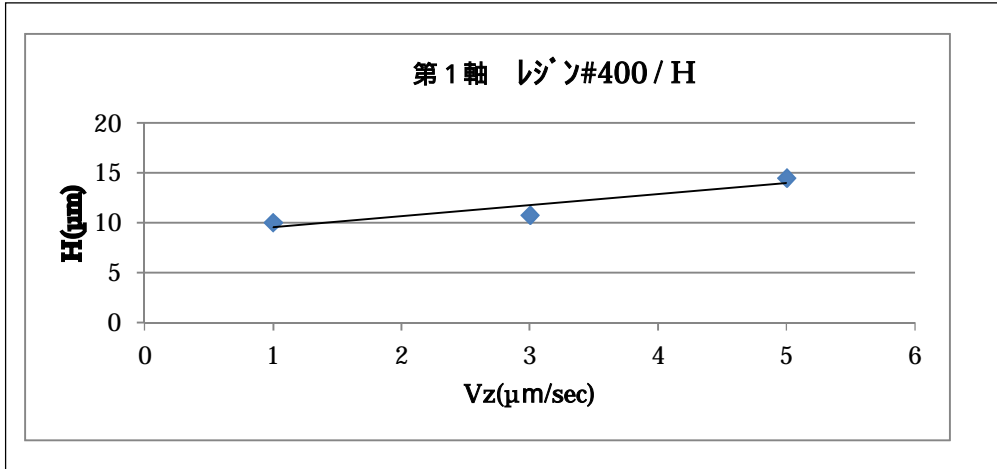


図 4-4 砥石切込み送り：Vz と破碎層深さ：H の関係

破砕面は光学顕微鏡で観察し、#400、#2000では $H = 20 \mu m$ であったが、#5,000/#2000では $H = 30 \mu m$ であり、#400の広範囲な利用が可能である事が判明した。【資料3】  
#8000での破砕層深さは現在、TEM撮像を依頼中である。

#### 4 - 4 Si-ウェーハの薄板化実験

上述の粗さ試験において、新開発のビトリファイド系砥石で研削比の高い兆候が観察されたため、本項での薄板化実験に先立ち、高速研削での研削比の予備実験を行った。

本研磨機の第1, 2軸は $N=3,000 \text{ rpm Max}$ の高速回転が可能であるため、第1軸に#400砥石を、第2軸にビトリファイド系#8000砥石を搭載した。

研削加工条件は第1軸回転数： $N1=2000(\text{rpm})$ 、ウェーハ軸回転数： $n1=300(\text{rpm})$ で前研削面を製作し、第2軸回転数： $N2=2400(\text{rpm})$ 、 $n2=300(\text{rpm})$ で仕上げ研削を実施した。砥石軸送りは $Vz1 = 4 \sim 1 (\mu m/\text{sec})$ 、 $Vz2 = 0.4 \sim 0.2 (\mu m/\text{sec})$ であった。

その結果、ウェーハ研削量 $30 \mu m$ に対して砥石摩耗量は $0.7 \sim 1 \mu m$ であった。この値は研削比： $=30$ に相当し、現状市場での最高レベルと認識でき、従来の $=0.3$ より大幅な改善を達成できた。

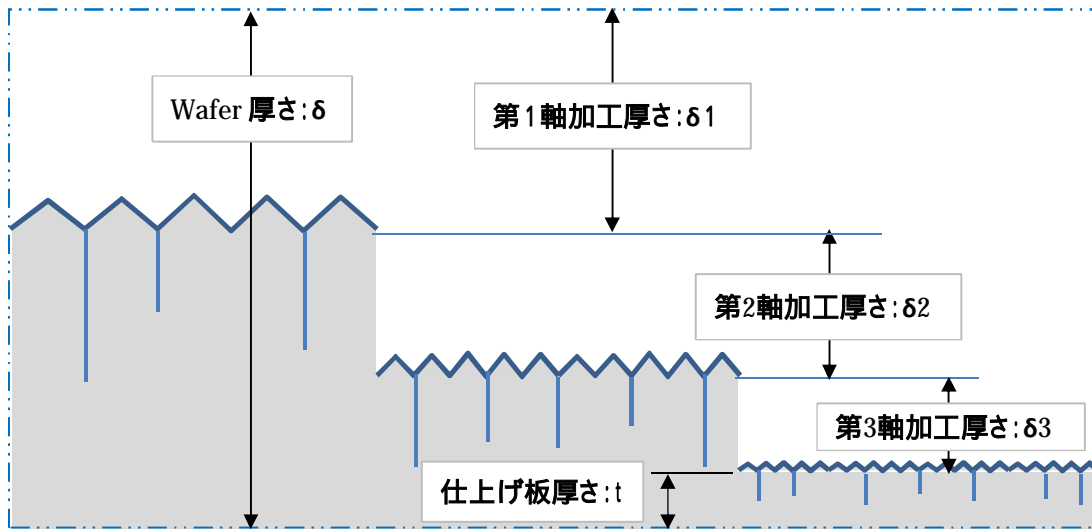
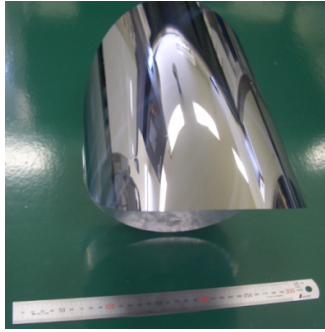


図 4-5 破砕層面の加工モデル

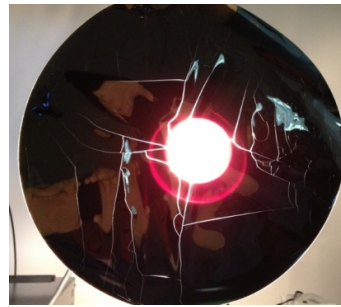
図 4-5 は破砕層面での各研削軸での加工モデルである。このモデルは、例えば第2軸では第1軸研削での破砕層深さよりも大きな切取り厚さの必要性を説明している。

本実験では、 $=780 (\mu m)$ 、 $1=720 (\mu m)$ 、 $2=30 (\mu m)$  で研削を行い、仕上げ板厚さ： $t=30 (\mu m)$  の加工を 3min で行った。

写真 4-1 (a) は厚さ： $t=30 \mu m$  のウェーハ外観写真であり、(b)は裏面からの懐中電灯の透過光写真である。



(a) 外観写真



(b) 透過光写真

写真 4-1 t30 μ m ウェーハ

#### 4 - 5 チップ抗折強度

図 4-6 はウェーハよりダイシングしたチップの表面粗さ：Rmax とチップ強度の相関である。この相関より、研削表面粗さ：Rmax が小さい程チップ強度： $\sigma$  は強化される事が理解できる。一般的に、nm オーダの加工では  $R_{max} / R_a = 6 \sim 8$  であるため、 $R_a = 3.5 \sim 4.6 \text{ nm}$  ( $R_{max} = 28 \text{ nm}$ ) であれば  $\sigma = 60 (\text{N/mm}^2)$  オータになると想定される。

【試験条件】  
 チップ形状  
 \* 20x20mm  
 厚さ：  
 \* t100 μ m  
 3点曲げ方式  
 支点間距離：  
 L=8mm

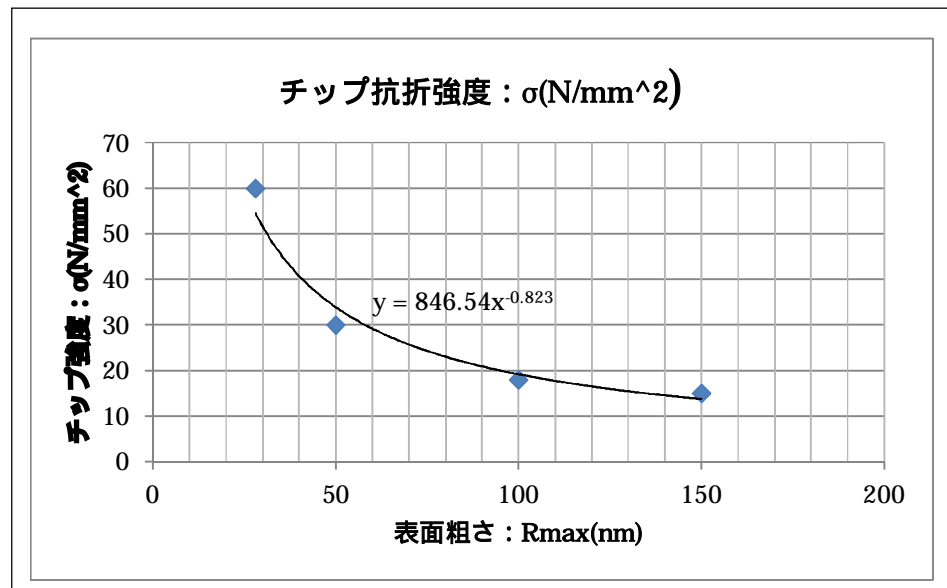


図 4-6 面粗さ：Rmax とチップ強度の相関

#### 4 - 6 Gettering 試験

Gettering 試験は現在評価中である。

#### 4 - 7 研究成果

上述の如く、第4章では以下の結論を得た。

- 1) フェノール、メラミン、ビトリファイド各#8000 砥石で  $Ra < 10\text{nm}$  の研削加工が可能であるが、生産的には新開発の真空低温焼成のビトリファイド砥石が安定していた。
- 2) 各砥石軸での破碎層深さを測定し、破碎層深さを考慮した研削モデルが構築できた。
- 3) 第1軸レジン#400 砥石、第2軸新型ビトリ#8000 で  $t30\mu\text{m}$  の薄板ウェーハの加工に成功した。
- 4) 低速・低加工圧研削では研削効率が低く、高速・低加工圧の研削機構を開発する必要がある。



## 第5章 全体総括

### 5 - 1 全体総括

本研究開発は、平成 23 年 1 月 27 日に関東経済局とラップマスターエスエフティ株式会社の間で締結された、平成 22 年度戦略的基盤技術高度化支援事業「大口径シリコンウェーハの極薄化に対応した高精度切削加工技術の研究開発」に関する委託契約書（平成 23-01-26 関東会第 3 号）に基づき平成 23 年 11 月 30 日の完了期限で進捗した開発である。

平成 23 年 3 月 31 日にラップマスターエスエフティ株式会社の全事業をマイクロ技研株式会社が譲り受けたことに伴い、事業管理者が変更したが、本研究の目的並びにテーマはそのまま継承された。

本研究の目的は、将来の大口径ウェーハの薄板化研削加工に対応するための新型ポーラス砥石の開発と、その特性を十分に発揮させるための低加工圧・低速研削機構の開発である。

目的達成のためにマイクロ技研株式会社が主体となり、新型ポーラス砥石を低加工圧・低速研削機構に搭載し、新たな研削システムの用途開発を進めた。

開発成果としては下記の状況である。

#### ポーラス樹脂含浸ビトリファイド砥石

従来型の PVA 砥石は脆弱で研削比（ $\approx 0.4$ ）も少ない現状であったが、強靱なポーラス樹脂砥石やセラミックス系ビトリファイド砥石の開発に成功し、最終仕上げ面粗さ：3nmRa、研削比： $\approx 30$ を達成し、生産現場で使用可能な状態となった。

砥石の自己ドレスサイクルの解明や破砕層深さの観測データより、これまでの #400 #2000 #8000 工程から、#400 #8000 工程の目処が立ち、生産性向上が期待できる。【資料 6】

#### 低速・低圧研磨ユニット

研磨初動時、砥石とウェーハ接触時の荷重低減化に成功し、衝突防止技術、超低加圧制御技術が確立できた。この機構開発は、将来の極薄板技術における破砕層の極小化やソーマークの減少化に役立つと確信できる。

砥石形状によるヘルツ応力分布の差異による研削加工断面形状の観察に成功し、矩形断面よりも丸型砥石が長波うねりで加工し、研削効率も優れている事が判明した。

【資料 7】

#### 4 - 2 事業化に向けた取り組み

結果として開発目標はおおむね目標が達成できたが、市場参入のためには多数枚での研削実績やダイシング後での歩留まり評価を実施する必要がある。これらの実施にはユーザーと共同歩調を取る必要があり、かなりの時間が必要である。本開発終了後も開発を継続し、平成 24 年半ばには完了させる計画である。

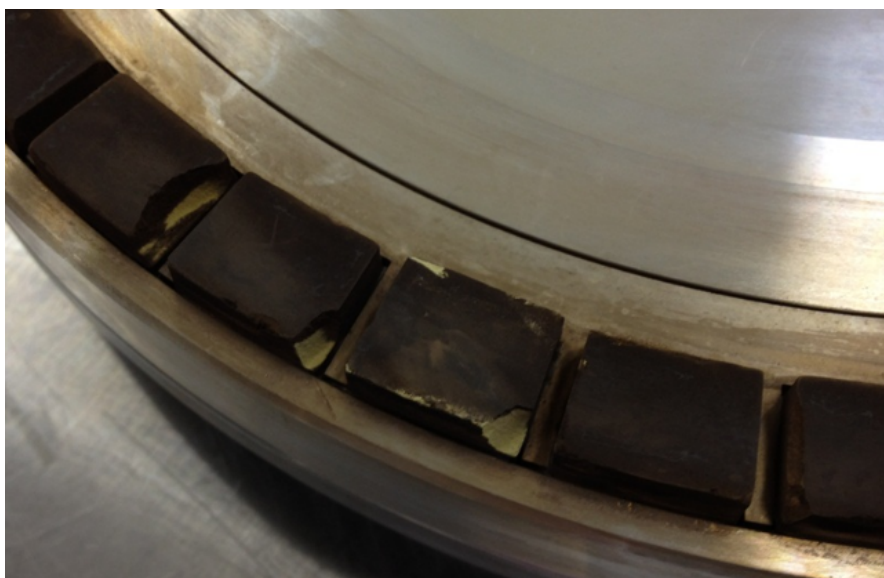
終わりに、多大なご指導、ご教授をいただきました関東経済産業局、神奈川県産業技術センターに感謝いたします。

以上

【参考文献】

- 1) Hydro-dynamics に関する 3 次元潤滑理論のレイノズル基礎方程式：  
岩浪繁蔵、平山直道、流体力学、202-203、実教出版(1981)
- 2) リング形摺動面でのトルク（砥石研削トルク）：  
鷲田 彰、メカニカルシール、29、日刊工業(1969)
- 3) 円柱状剛体パンチによる接触応力（Hertz's formula）：  
日本機械学会編、機械工学便覧・材料力学、丸善、 3-77（2007）
- 4) 石川一政、小林一雄、半導体デバイスの裏面研削技術、精密工学会誌、73,7,764(2007)
- 5) 特許；特開 2010-225987「ウェーハの研磨方法及び研磨パッド」
- 6) 菊池正典、やさしくわかる半導体、日本実業出版(2000)
- 7) DISCO Gettering DP カタログ、[www.disco.co.jp/jp](http://www.disco.co.jp/jp)
- 8) 専門用語：  
精密工学会 プラナリゼ - ション C M P とその応用技術専門委員会【編】、半導体 CMP  
用語辞典、オ - ム社(2008)

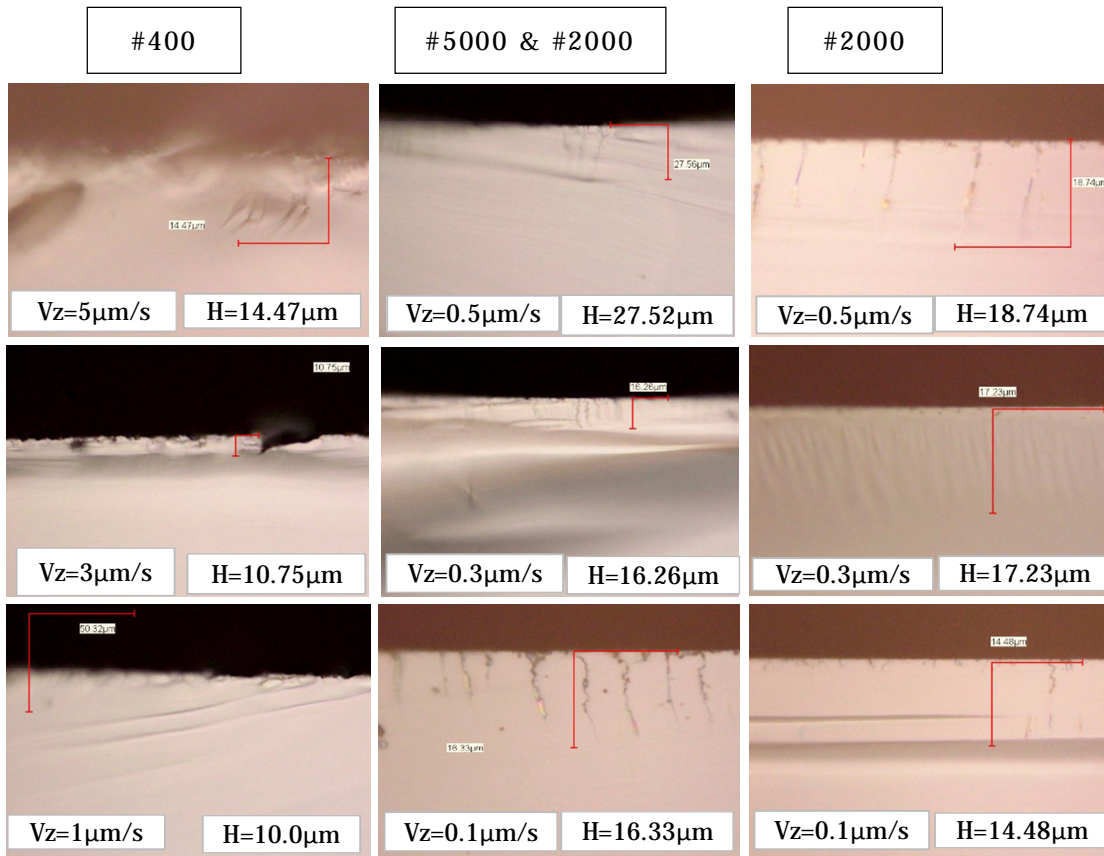
【データ集】



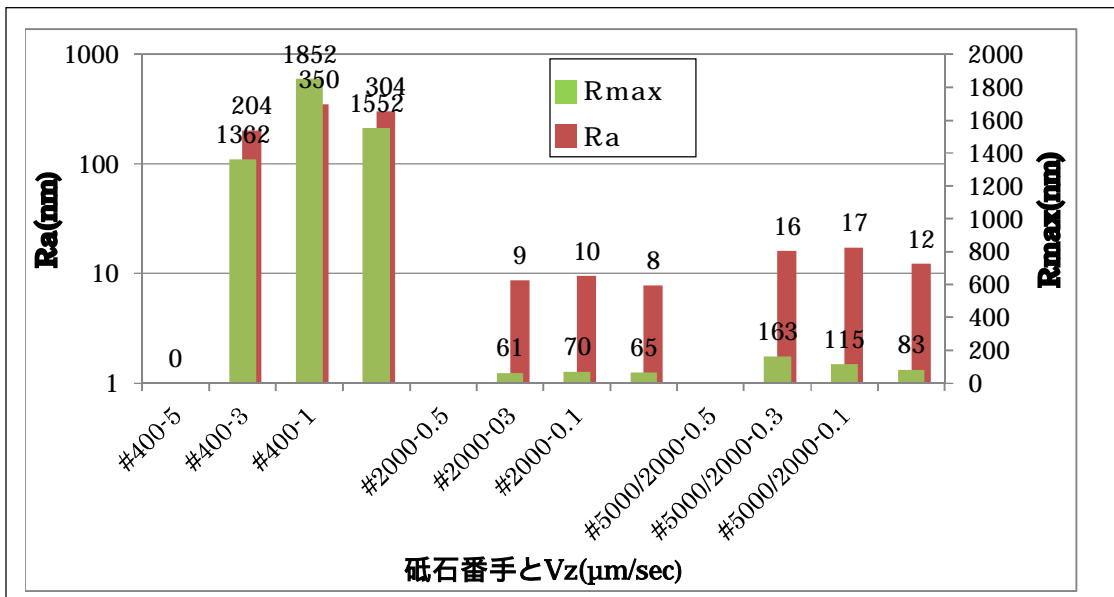
資料 1 . 従来型砥石 (L4:PVA) の欠損状態 (砥石外径:  $d=300$ )



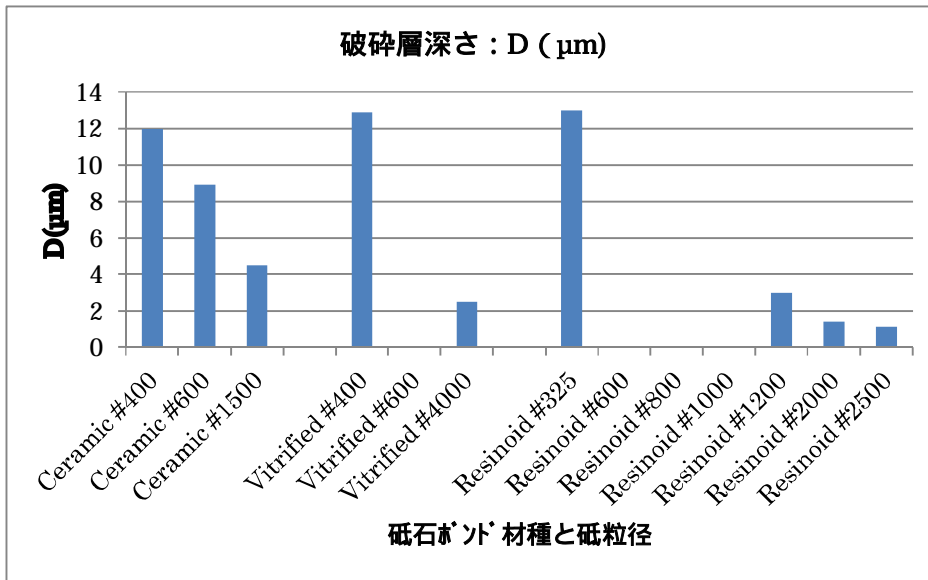
資料 2 . #8000 砥石研削仕上げ面 (2nmRa)  
 (株)キーエンス レーザーマイクロスコープにて計測)



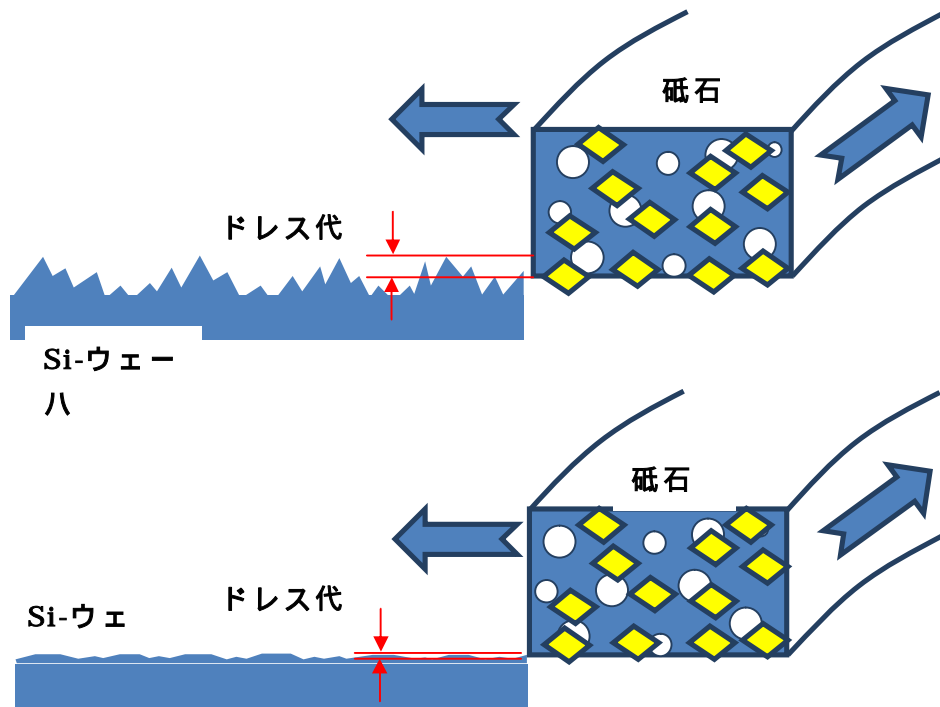
資料 3 . 破碎層観察写真 ( $V_z$  : 砥石軸切込み速度、H : 破碎層深さ)



資料 4 . 砥石番手と  $V_z$  における Ra, Rmax

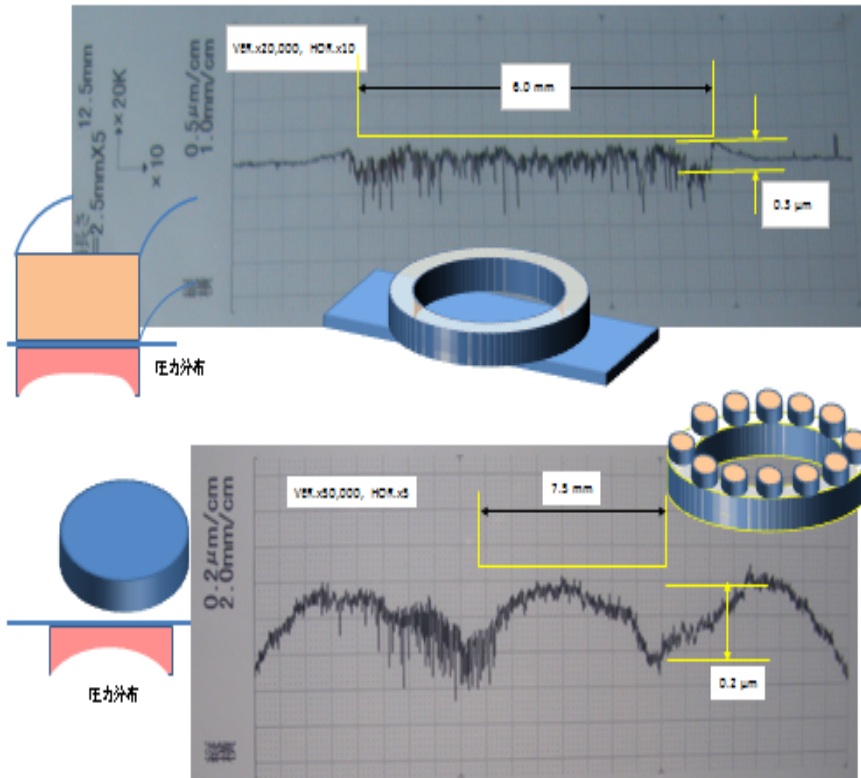


資料 5 . 破碎層深さに関する従来値データ例



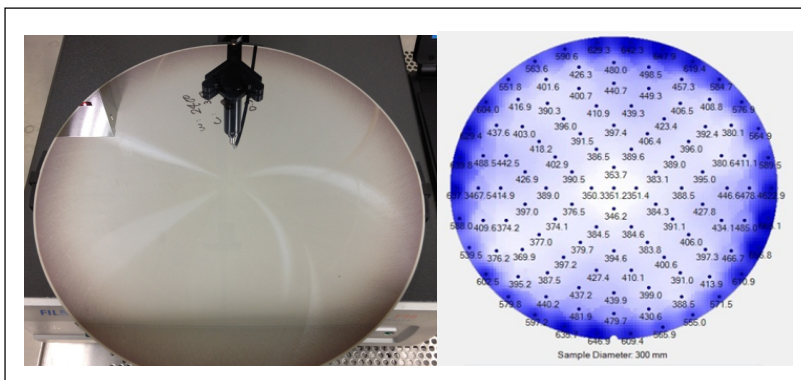
資料 6 . 前加工面粗さの差異による砥石のドレス代状況

### 弾性砥石形状と圧力分布



- \* 矩形砥石ではコーナー部の応力が高く、加工断面が鋭くなっている。
- \* 丸型砥石の加工断面は矩形砥石よりも波長の長い曲線となっている。
- \* 研磨断面形状は砥石軸回転のみで観察した。
- \* 研削効率は丸型砥石の方が優秀であった。

### 資料 7 . 弾性砥石における Hertz's 応力と研磨断面形状



資料 8 . 樹脂砥石によるウェー八面上の薄膜  
(フィルメトリックス株式会社 自動薄膜マッピングシステムにて計測)

## 【用語解説】

### \* ゲッターリング ( Gettering ):

ゲッターリングは半導体中に含まれる金属不純物等を、何らかのエネルギーで移動させ所定の領域 (ゲッターリングサイト) に濃集させることで、素子形成領域 (被ゲッターリング領域) の金属不純物濃度を低減させるものである。リンを用いたゲッターリングは当該金属元素をリン添加領域に偏析させることのできる方法である。裏面研削ではマイクロクラック部 ( 破碎層 ) で捕捉する。

### \* ヘルツ応力 (Hertz's stress)

物体同士の接触時の局部的応力を表している。例えば、用紙に押印した場合、印鑑の外縁部の応力が高くなる。樹脂ボンド砥石のような低弾性でも外縁部で圧力の高い部分が発生する。

### \* ビトリファイド砥石 (vitrified grinding stone; vitrified whetstone)

砥粒をガラス質、セラミックス質のボンド材で固めたもので、切れ味、研削持続力があり、耐摩耗性研削点において微小に 破碎していくため、切れ刃の持続時間が WA 砥石の 4 ~ 5 倍にもなる。

### \* 樹脂ボンド砥石 ( Resin bonded stone ):

エポキシ樹脂 ( epoxy resin ) を結合材にした砥石。エポキシ樹脂は機械的強度はフェノール樹脂以上に強靱であるが、可撓性エポキシ樹脂の使用により、弾性率を小さくできる。しかも、液状樹脂なので、発泡によりスポンジ状にできる。発泡エポキシ砥石は現存しない。

フェノール樹脂 ( phenol resin :  $C_6H_5OH$  ) は固くて脆いため、これを結合剤にした場合は相手に傷を付ける欠点がある。一般的には最終研磨工程では使用されていない。

メラミン樹脂 ( melamine resin :  $C_3H_6N_6$  )

### \* 破碎層 :

研磨ダメージによる結晶格子の乱れを指す。デバイス形成に大きな弊害となる。