

硬脆材料の鏡面研削加工と ダメージフリー砥石

株式会社フェムテック

ダメージフリー研削装置紹介
ダメージフリー砥石紹介
ラッププレート紹介

目 的

サファイアやSiCに代表される難研削性硬脆材料の研削時間短縮に向けて、鏡面研削とダメージフリー研削を研究開発しております。

従来の研削方法では、難研削性硬脆材料の研磨加工に多大なる時間や製作コストを要して来ました。難研削性硬脆材料の代表されるサファイア基板においては、LEDやスマートフォンの強化カバーガラス等で製造コストの対応の遅れや、SiC、GaN等のデバイス普及が遅れ、労働力の安い諸外国に負け劣ってきております。

製作時間短縮、製造コストの削減を達成するために、開発された新時代の技術研磨装置を製造しました。研削盤とラップ盤の融合された装置です。

その名は『グラインドラップ』と申します。

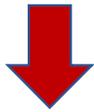
新時代の技術研磨装置グラインドラップは研削加工の速い研削力にラッピング・ポリッシングに使用されている遊離砥粒スラリーをプラスし、研削力のパワーアップをさせ、加工物及び砥石の研削目詰まりをスラリーにより除去し、研削加工の持続性を高めたインプロセスドレッシングを可能にしたスラリー研削加工を実現しました。

また、研削加工に圧力制御設定研削方式(一定圧)の採用によりハイメッシュ砥石の使用を可能にいたし、ラップ領域までの表面粗さまで達し、大きく加工時間短縮に寄与いたしました。まさに、研削加工とラップ加工の融合と言えるグラインドラップ装置であります。

従来までの研削の 考え方

切込み優先加工

切り込み第一主義



送り取り代ろ寸法第一主義



加工条件は
切り込み設定と砥石番手

従来の研削加工

定速研削

ダウンフィード送り込み確認の研削

研削液

潤滑性と切り粉除去、防錆、冷却昇温防止

半鏡面研削

低速度切り込み/微細砥粒だけでは鏡面にはならない

ビトリファイドボンド砥石

メタルボンド砥石

レジンボンド砥石

加工レート最重視のため、弾性力だけの砥石

従来研削の特徴

切り込み速度 1 μ m/min以上 切れ味を鑑み任意に設定した一定速で切り込む(砥石がワークを削れる前提)
砥石回転数 1000rpm以上 切れ味を鑑み任意に設定した砥石回転数に設定
ワーク回転数 200rpm以上 切れ味を鑑み任意に設定したワーク回転数に設定

研削加工時間 短縮したい

Time

砥石番手が細くなるにつれ研削能力が落ちてしまい、切れない事が生じるため切り込み速度を遅くしたり、切れる砥石番手まで下げるしか対処は無い
(荒研削加工で定速研削が望ましいが、ハイメッシュ仕上げ研削加工までは困難を極める)

表面粗さ 表面粗さを細かくしたい

Roughness

難研削性硬脆材料は硬くて脆いため、ボンド材の中で最も硬いビトリファイドボンドの調整だけでは困難である
切り込みの速度調整、番手の調整だけでは研削領域から脱せない
(ボンドの選定と砥粒の選定の調整が必要、定速切込みだけでは限界がある)

平面精度 なるべく平坦にしたい

Flatness

総合装置精密組み立て精度が問われる自己精密精度に委ねられる平面精度
(スピンドル精度、振れ精度、真直精度、装置剛性精度、等により平面精度を自己創生するため高価になる)

砥石摩耗率 摩耗しない砥石を望みたい

Wear

自生が無いと切れない、自生があると摩耗する
(砥石自生率との鑑みを重要視してみる事が必要になる)

GLの研削の 考え方

グラインドラップ

削れ優先加工

削れたら押し込む



一定圧力・スラリー研削



高速ラップ

グラインドラップ研削

定圧研削

無理をしない研磨（押し込み研削）

スラリー研削

砥石砥粒サイズと同じスラリーサイズ
温調機冷却・潤滑を兼ねるスラリー

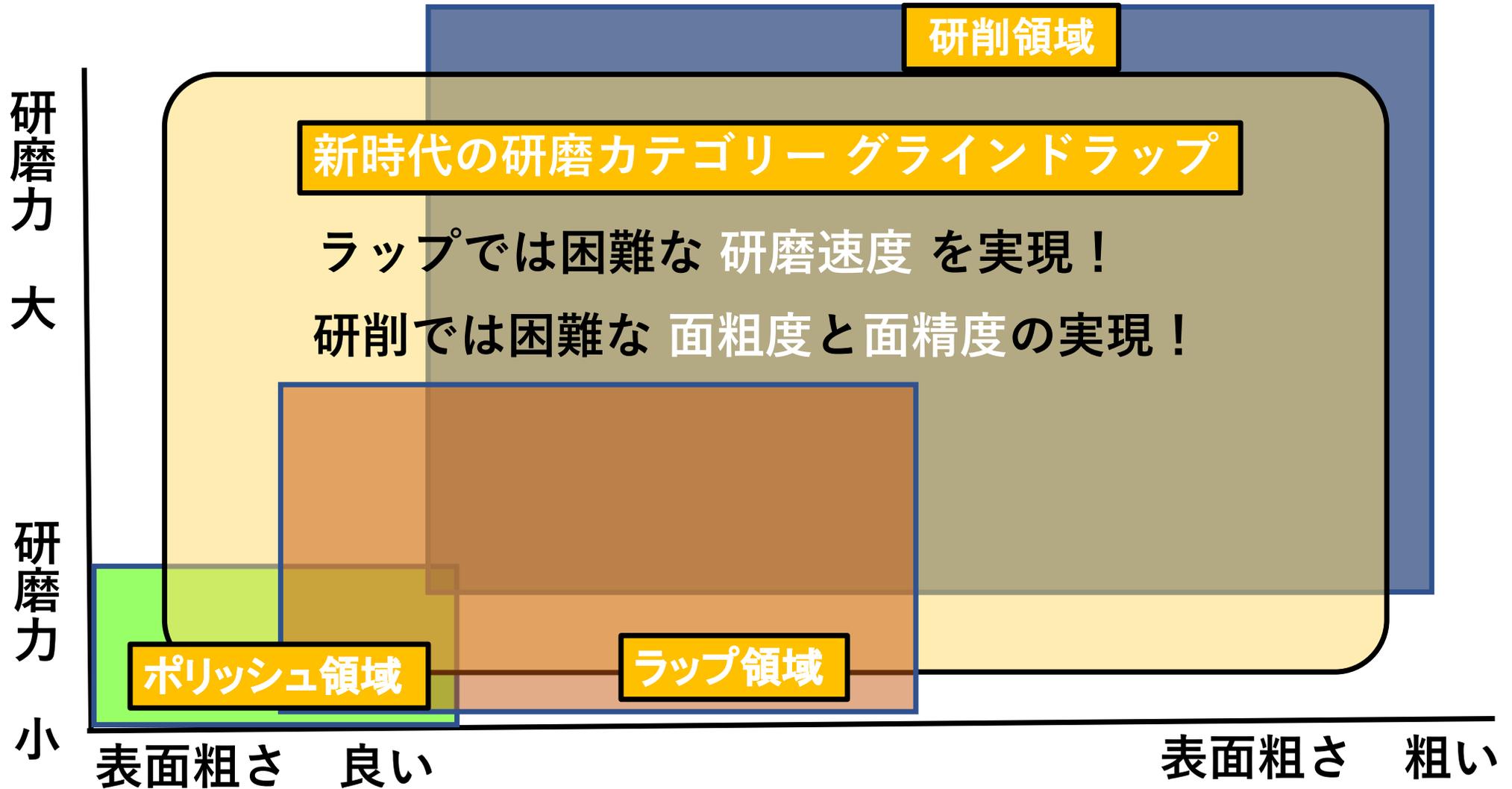
鏡面研削

平面精度構築のあとに面粗さ精度がある

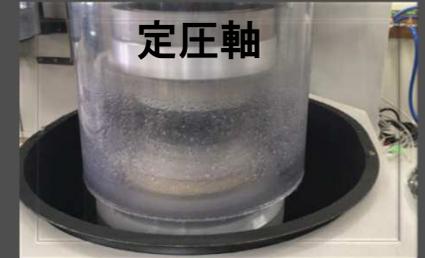
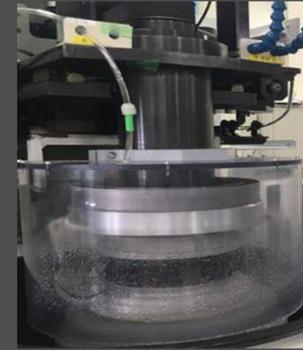
熱可塑性砥石

弾性力と粘性力と延性モード研磨

研削とラップの複合研磨『グラインドラップ』の領域



グラインドラップ 実験装置写真



新時代の研磨技術 グラインドラップとは？

グラインドラップとは(Grind Lap) なにか？

研削加工速度の速さとラップ加工の面粗度の良さを同時採用した複合加工装置

研磨機	加工回転速度	切り込み方式	研削液	平面精度	面粗さ
従来研削	1000回転以上	一定速切り込み	冷却/潤滑	平面自己精度	ボンド材質・砥粒番手
従来ラップ	100回転以下	一定圧切り込み	スラリー	平面転写	定盤材質・スラリー
グラインドラップ	1000回転以上	一定圧切り込み	冷却/スラリー	平面転写	ボンド・番手・スラリー

Grind Lap の特徴

- 固定砥粒と遊離砥粒との複合研磨である
- 一定圧力切り込み研削 + 遊離砥粒スラリー
- Grind Lapping Wheel (熱可塑性砥石)
- インフィードドレッシング研削

Grind Lap の効果

- 1,ダメージフリー
- 2,研磨能力のUP
- 3,表面粗さのUP
- 4,平面精度の向上
- 5,スクラッジの減少
- 6,チッピングの減少
- 7,砥石ドレス頻度減少
- 8,Rmax(P-V)の減少

グランドラップの特徴 1

Time

切り込み速度 ? $\mu\text{m}/\text{min}$ 以上 ラップ加工同様、任意に設定した一定圧力で切り込み、削れたら切れ込んでいく研削加工
砥石回転数 1000rpm以上 従来研削同様、切れ味を鑑み任意に設定した砥石回転数に設定
ワーク回転数 200rpm以上 従来研削同様、切れ味を鑑み任意に設定したワーク回転数に設定

研削加工時間 短縮したい

砥石番手が細くなるにつれ砥粒サイズとチップポケットサイズも小さくなる。
そのため徐々に切粉と砥石ボンド材がチップポケットに入り込み目詰まりしはじめ研削能力の低下おこす。
頻繁な再ドレス、切り込み速度を遅らせたり、切れる砥石番手までの荒番手にするしか研削方法が無い。
(荒研削加工で定速研削が望ましいが、仕上げ研削加工までは困難を極める)

グランドラップ加工

【スラリー研削】

遊離砥粒(スラリー)を用いる研削加工により、研削液の代わりに、**研削力が増加する**

【3つの研磨要素】

砥石番手と同様のスラリーを使用することによって**固定砥粒と遊離砥粒と遊離砥粒が固定砥粒ボンド材に突き刺さる(遊離砥粒の固定砥粒化)**3つの研磨効果で研削時間を短縮する

【インプロセスドレッシング】

スラリーはワークを削り、砥石を削るため、砥石摩耗率は極めて悪いがインプロセスドレッシングにもなることにより**連続研削継続時間がより長く持続する**

グランドラップの特徴 2

Rughness

表面粗さ 表面粗さを細かくしたい、ダメージフリーにしたい

難研削性硬脆材料は硬くて脆いため、ボンド材の中で最も硬いビトリファイドボンドの調整だけでは困難である
切り込みの速度調整、番手の見直し調整だけでは表面粗さをUPする方向に向いていない。
(砥石ボンドの選定と砥粒の選定の調整が必要、定速切り込みだけでは限界がある)

グランドラップ加工

【一定圧力 スラリー研削】

一定圧力スラリー研削は、ワークが削れたら送り込まれる砥石であるため μm 以下のハイメッシュ番手の砥石でも、使用できる。

【ダメージフリー研削】

一定圧力における固定砥粒と遊離砥粒スラリー研削のため研削ダメージも極限まで減少できる

【延性モードスラリー一定圧研削】

脆性破壊モードに近いビトリファイドボンド砥石による定速研削は粗研削加工には適合しているが、ハイメッシュ仕上げ研削には粘弾性効果を利用したほうが表面粗さの向上につながる。

ポリッシング加工と同様な動作を与える延性モードスラリー一定圧研削の方が表面粗さ向上には適している。
砥石ボンド材の弾性率と粘性率を製造処方によって組み合わせ、砥石を延性モード化し研磨することで表面粗さの向上とダメージのない鏡面研削加工を行う

グランドラップの特徴 3 Flatness

平面精度 なるべく平らにしたい

平面精度創生には従来の研削盤では総合装置精密精度が問われる。
(スピンドル精度、振れ精度、装置剛性精度、等により平面精度を創生するため、高価になる)

グランドラップ加工

【回転、偏心、揺動、による8の字研磨】

粗研削の平面精度をそのまま継承しながらウェハー表面基準圧の力研削である。
より精度の高い平面精度創生のためワークに対して砥石軸およびワーク軸のいずれかを回転、XY揺動、(8の字研磨)の動作により、ラップ式平面転写を行い、精密な平面精度を構築する事が可能になる。

砥石摩耗率 摩耗しない砥石を望みたい

自生が無いと切れが悪くなる 自生があると摩耗が早くなる
(砥石自生率との鑑みを重要視してみる事が必要がある)

グランドラップ加工

【最終仕上げ研削砥石】

粘弾性を持った熱可塑性砥石は、柔らかいボンドであるが微細砥粒や骨材、活性剤がその硬さを保持させており、粘弾性力が砥石摩耗を低減させている
ラップ加工と同様な砥粒動作をし、柳の枝のように砥粒1粒の研磨する距離が粘弾性力によって長くなり延性効果が発生する

従来のビトリファイドボンド砥石も脆性モード破壊力を脆弱砥石化することでハイメッシュ高番手砥石を開発しているが摩耗率はハイメッシュになるにつれ結合の脆さが際立ってくる

各研磨性能の強みと弱み

比較項目	研削 (固定砥粒)	ラップ (遊離粒)	研削とラップの融合！？ グラインドラップ
ウェーハチャック 軸回転数	○早い(300rpm)	X遅い(60rpm)	○速い(500rpm)
砥石軸回転数	○早い2,000rpm	X遅い(60rpm)	○早い2,000rpm
研磨速度	○早い	Xすごく遅い	◎速い
フレ/カケの発生	X大	◎無い	◎少ない
破砕ダメージ層	X大	◎減少	◎減少
スクラッチ	X大	◎減少	◎減少
ドレス頻度	X多い	◎いらぬ	○少ない
平面精度	△少し悪い	◎良い	◎良い
表面粗さ	△少し悪い	◎良い	◎良い

◎優れている

○良い

△少し悪い

X劣る

『グラインドラップ』
は研削加工の優れ
ている所とラップ加
工の優れている点
を取り入れた
新しい研磨加工方
法です

表面加工装置及び方法

登録日 平成30年2月2日



特許第6281988号

JP 6281988 B2 2018.2.21

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特許公報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6281988号
(P6281988)

(45) 発行日 平成30年2月21日 (2018.2.21)

(24) 登録日 平成30年2月2日 (2018.2.2)

(51) Int. Cl.

F 1

B 2 4 B	7/04	(2006.01)	B 2 4 B	7/04	A
B 2 4 B	37/11	(2012.01)	B 2 4 B	37/11	
H O 1 L	21/304	(2006.01)	H O 1 L	21/304	6 2 1 C
B 2 4 D	7/00	(2006.01)	H O 1 L	21/304	6 2 2 W
B 2 4 B	57/02	(2006.01)	H O 1 L	21/304	6 3 1

請求項の数 13 (全 15 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2016-192150 (P2016-192150)

(22) 出願日 平成28年9月29日 (2016.9.29)

(62) 分割の表示 特願2014-40917 (P2014-40917) の分割

原出願日 平成23年11月9日 (2011.11.9)

(65) 公開番号 特開2017-35778 (P2017-35778A)

(43) 公開日 平成29年2月16日 (2017.2.16)

審査請求日 平成28年10月27日 (2016.10.27)

(73) 特許権者 502377811

株式会社フェムテック
東京都荒川区西日暮里2-50-5

(74) 代理人 100109553

弁理士 工藤 一郎

(72) 発明者 坂井 孝三

東京都荒川区西日暮里2-17-10 株式会社フェムテック内

審査官 亀田 貴志

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 表面加工装置及び方法

GL グラインドラップ

(実験装置)

スラリー供給口

定速軸

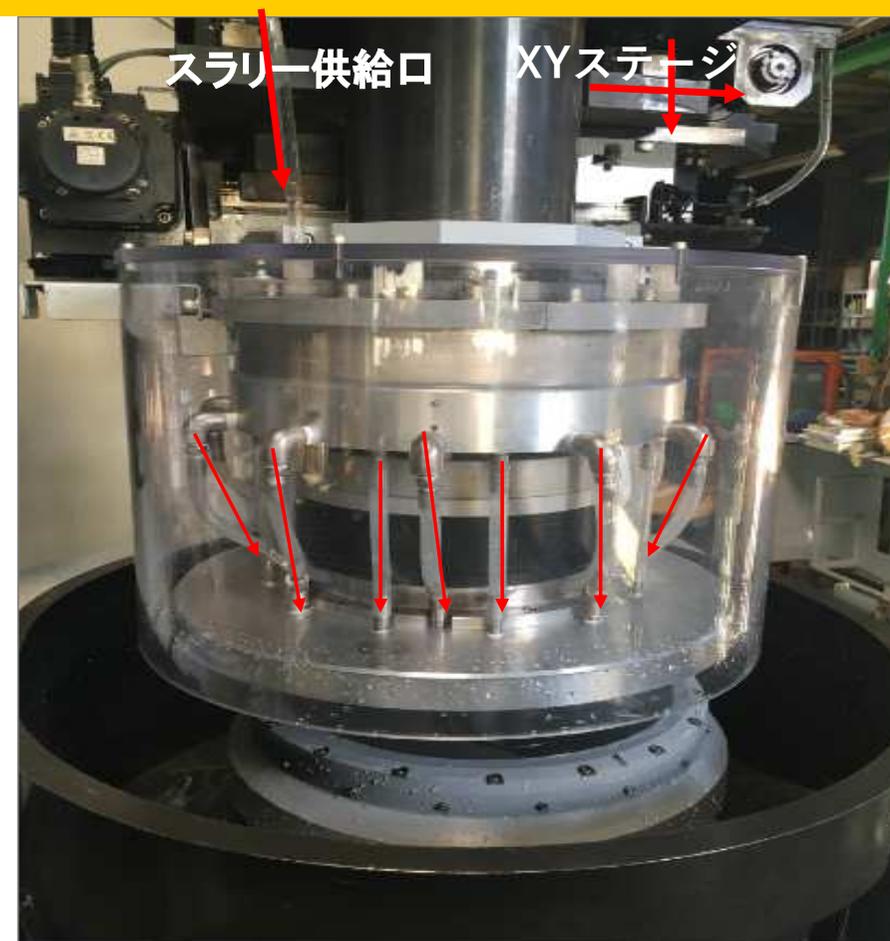
定圧軸

詳細

エアバック加圧制御部

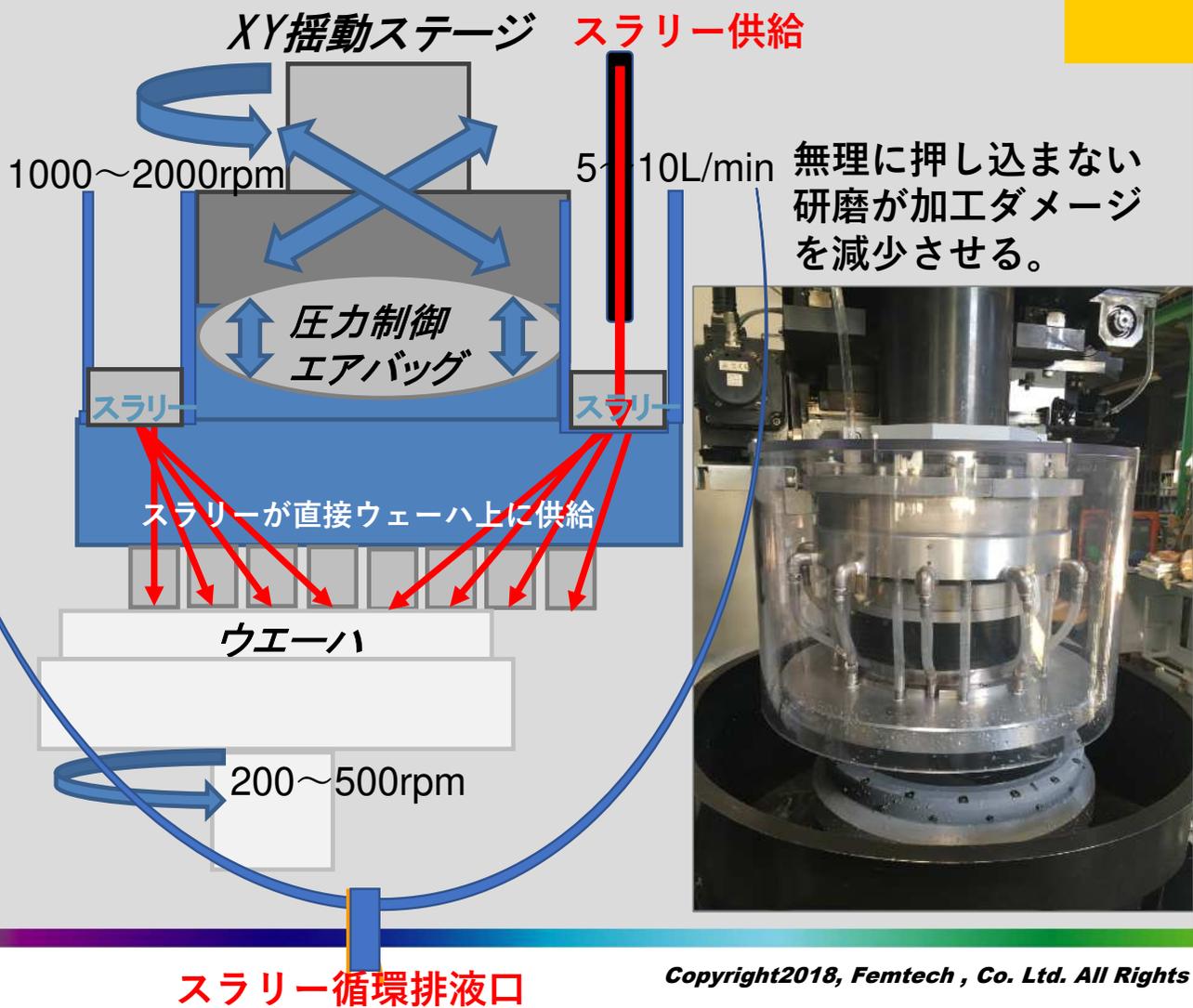
定圧研削実験装置

GL (グラインドラップ)



加工ダメージが低減できる方法

GL (グラインドラップ)



① 定圧研削

切込み優先加工

定速送りは、設定した送り切込みにより強制的に研削する。
ワークの研削状態とは無関係のた加工ダメージが大きい研削になる。

削れ優先加工

定圧送りは、削れた分だけ応力緩和研削が進むため加工ダメージが極端に低減できる。
高精度でダメージの少ない研削を実現

ダメージフリー砥石

弾性力の反発と粘性力の応力緩和砥石である

GL

(グラインドラップ)

多結晶ダイヤモンド
RG-PCD 3 μ m



溝を入れる

②弾性と粘性を持った砥石

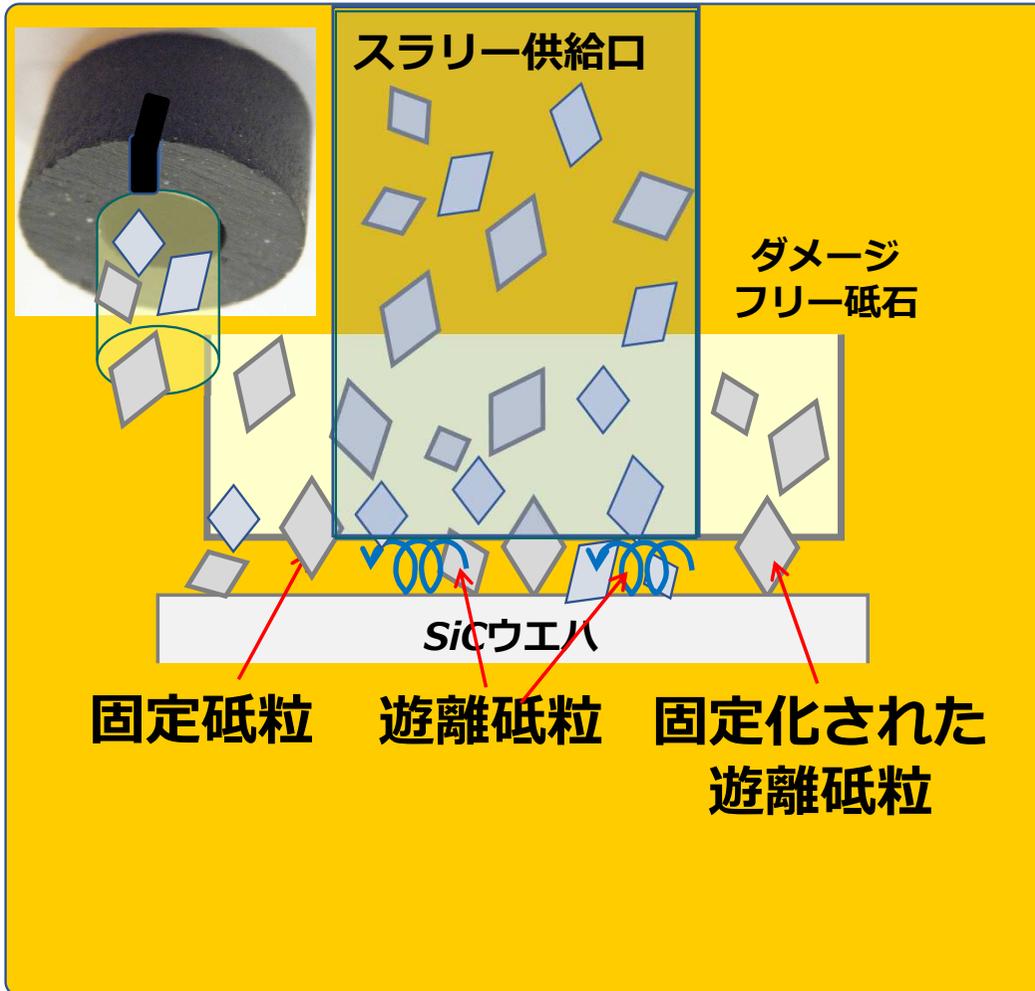
『**弾性力**』が加工レート向上、磨耗率低減
『**粘性力**』が面粗さ向上、スクラッジ低減

ラッピングにおける銅定盤より、錫定盤の方が面粗さが良い理由は『**粘性**』があるため
錫定盤より、銅定盤の方が加工レート速い理由は『**弾性**』があるため

銅定盤 弾性力がある分
レートを上げる

錫定盤 粘性力がある分
面粗度を上げる

GL (グラインドラップ)



③ スラリー研削

研削液の代わりにスラリーで研削

3つの研磨作用

固定砥粒による研削

遊離砥粒による研削

再固定化砥粒による研削

研削時間
の短縮

インプロセスドレッシング

砥石目詰まりの防止

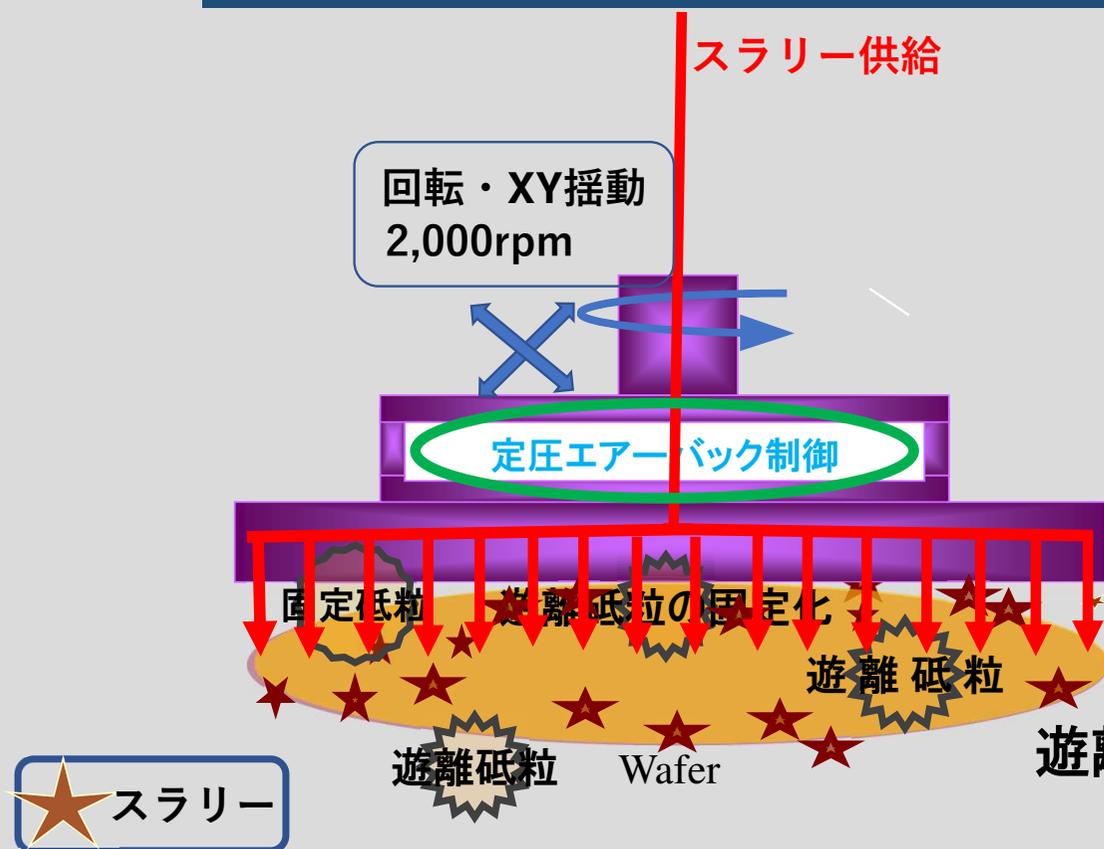
ロングラン加工の実現

砥石の切れ味維持

定圧軸工程 スラリー研削 ウェーハ上に直接スラリーを滴下する機構

GL グラインドラップ

3つの研磨効果



ウェーハ上に直接スラリーを滴下することにより砥石回転数やワークテーブル回転数をUPできることを可能にしました。



1 固定砥粒でボンド材に保持されながらワークを研削する。



2 スラリーの遊離砥粒でワークと砥石の界面に入りワークと砥石を研磨する。



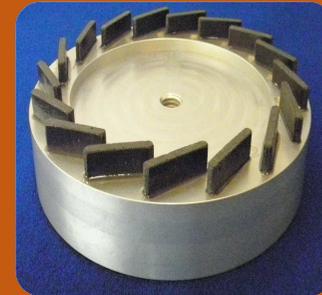
3 界面に入り込んだスラリーが砥石に突き刺さり砥石ボンド材にグリップされワークを研削する

Grind Lap Wheel

鏡面研削砥石 for Si / SiC / GaN / Al₂O₃ Wafer

圧力制御研削 スラリー研削 鏡面研削ができる砥石

熱可塑性砥石のバラエティーなホイール形状



多結晶ダイヤモンド

酸化セリウム

α アルミナ Al₂O₃

多結晶ダイヤモンド

単結晶ダイヤモンド

自生作用とチップポケットが研磨のカギをにぎる

GL (グラインドラップ)



多結晶ダイヤモンド
RG-PCD 3 μ m

ダメージフリー砥石

砥石骨材・活性剤の種類

微細ダイヤモンド ヒュームドシリカ 酸化セリウム アルミナ
ベーマイト 硝酸アルミ等酸化剤 セルロース 胡桃 触媒材料
錫合金ボール カーボン 松脂 アスファルト コールタール
脂肪酸エステル 各種ゾル系 CMC PP 発泡剤 おが屑 等



多結晶ダイヤモンド
RG-PCD 6 μ m



多結晶ダイヤモンド
RG-PCD 1/4 μ m

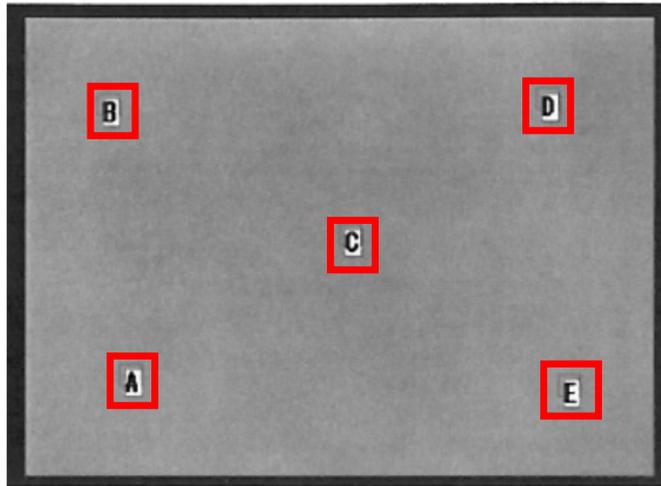


酸化セリウム
RG-1 μ m

〔表面粗さ〕ダメージフリーの砥石加工では
レーザー顕微鏡レベルでは測定不可能！

ダメージフリー砥石の 表面粗さ

レーザー顕微鏡以上の精密
測定機が必要となる！

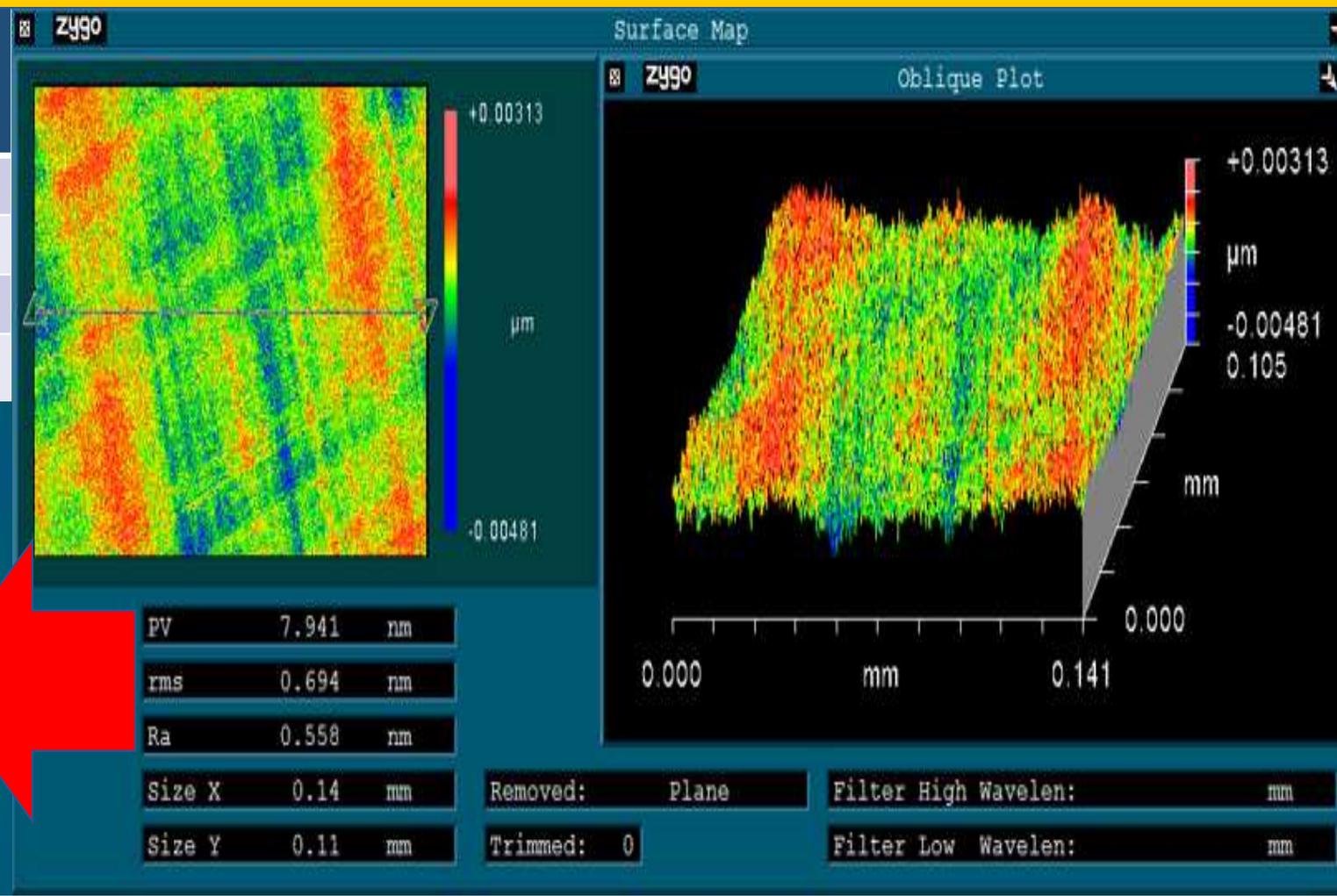


	全体	A	B	C	D	E
Ra (μm)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ry (μm)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Rz (μm)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
t _p (50%)	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
RMS (μm)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

SiCウェーハ ダメージフリー砥石定圧研削 テスト結果

評価項目	ダメージフリー砥石 RG-PCD 3 μ m 多結晶ダイヤモンド砥石
平均面粗さ(Ra)	0.56 nm
最大段差(PV)	7.94 nm
加エレート	10~20 μ m/h.
Zygo New View	

PV	7.941	nm
rms	0.694	nm
Ra	0.558	nm

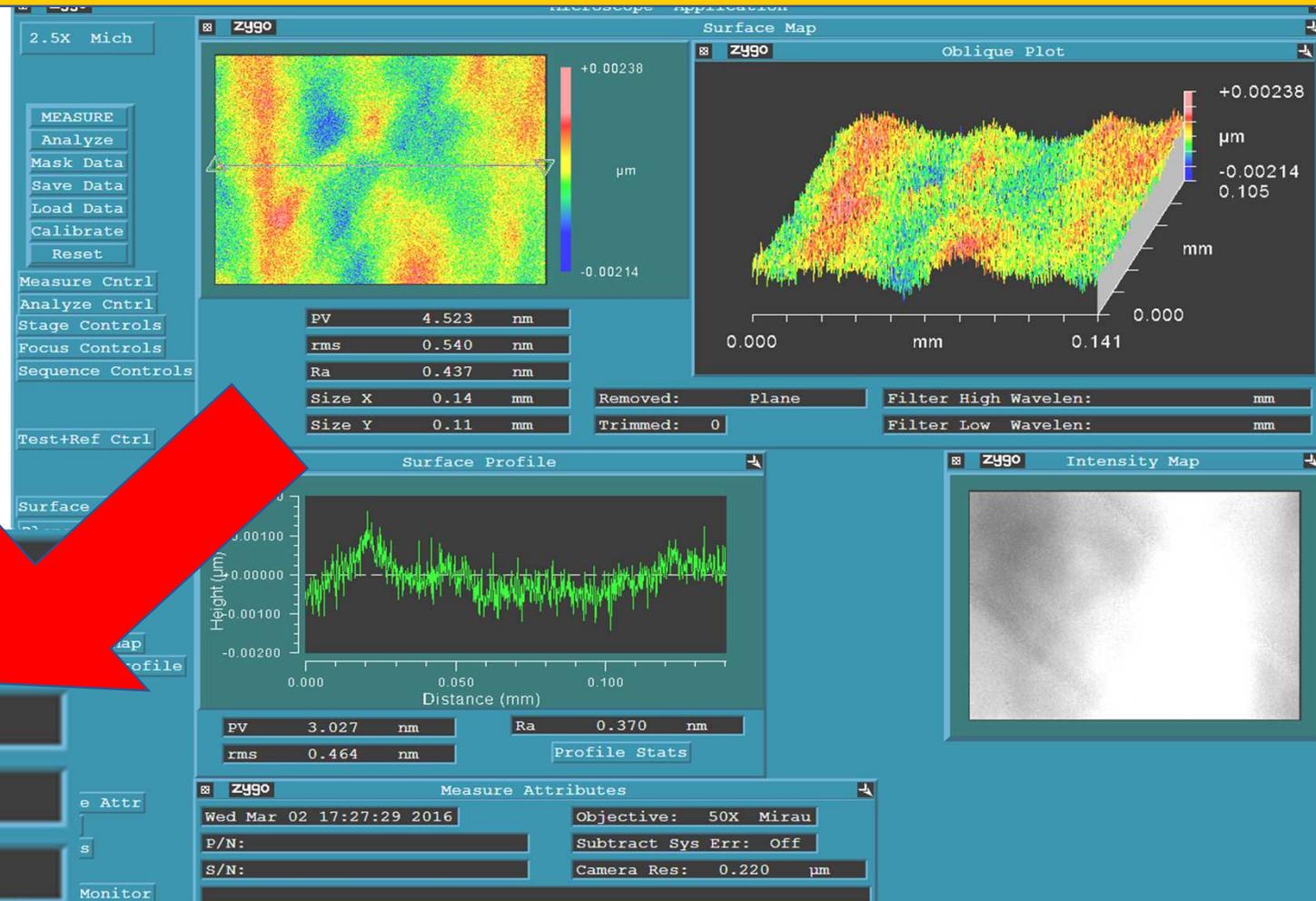


SiCウェーハ ダメージフリー砥石定圧研削 テスト結果

ダメージフリー砥石
RG-PCD 3 μ m
多結晶ダイヤモンド

スラリー
PC3 μ m多結晶ダイヤモンド

加工レート 0.1~0.2 μ m/min



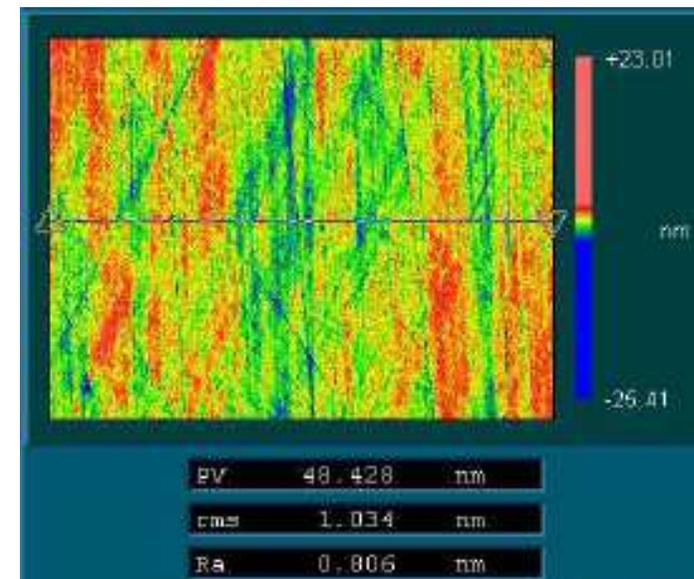
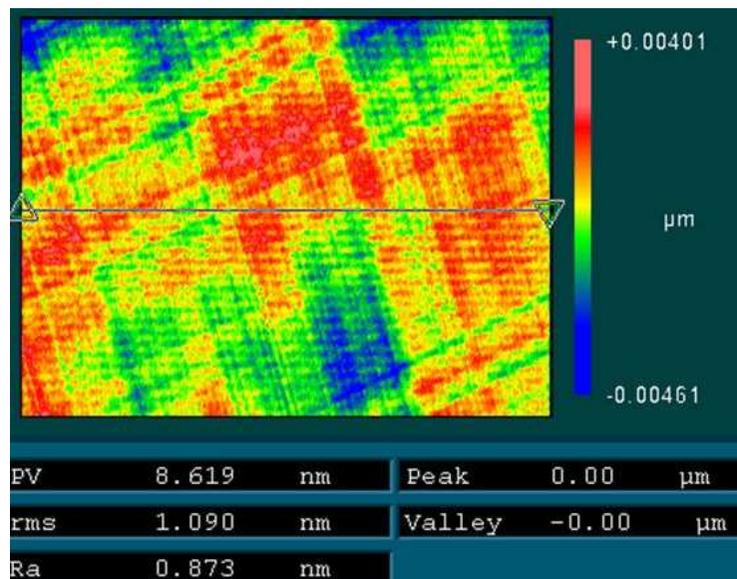
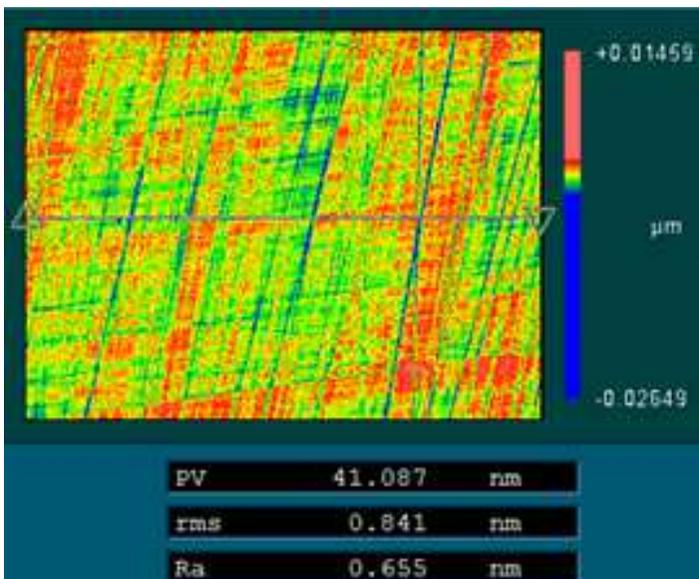
SiCウェーハ ダメージフリー砥石定圧研削 テスト結果

- グラインドラップ CEP3X 砥石多結晶ダイヤモンド3μm スラリーPC3μm研削実験
- 白色干渉計 Zygo New Viewで面粗さ測定 740μm×520μm

岡山大学

産総研先進パワエレセンター

住化分析センター



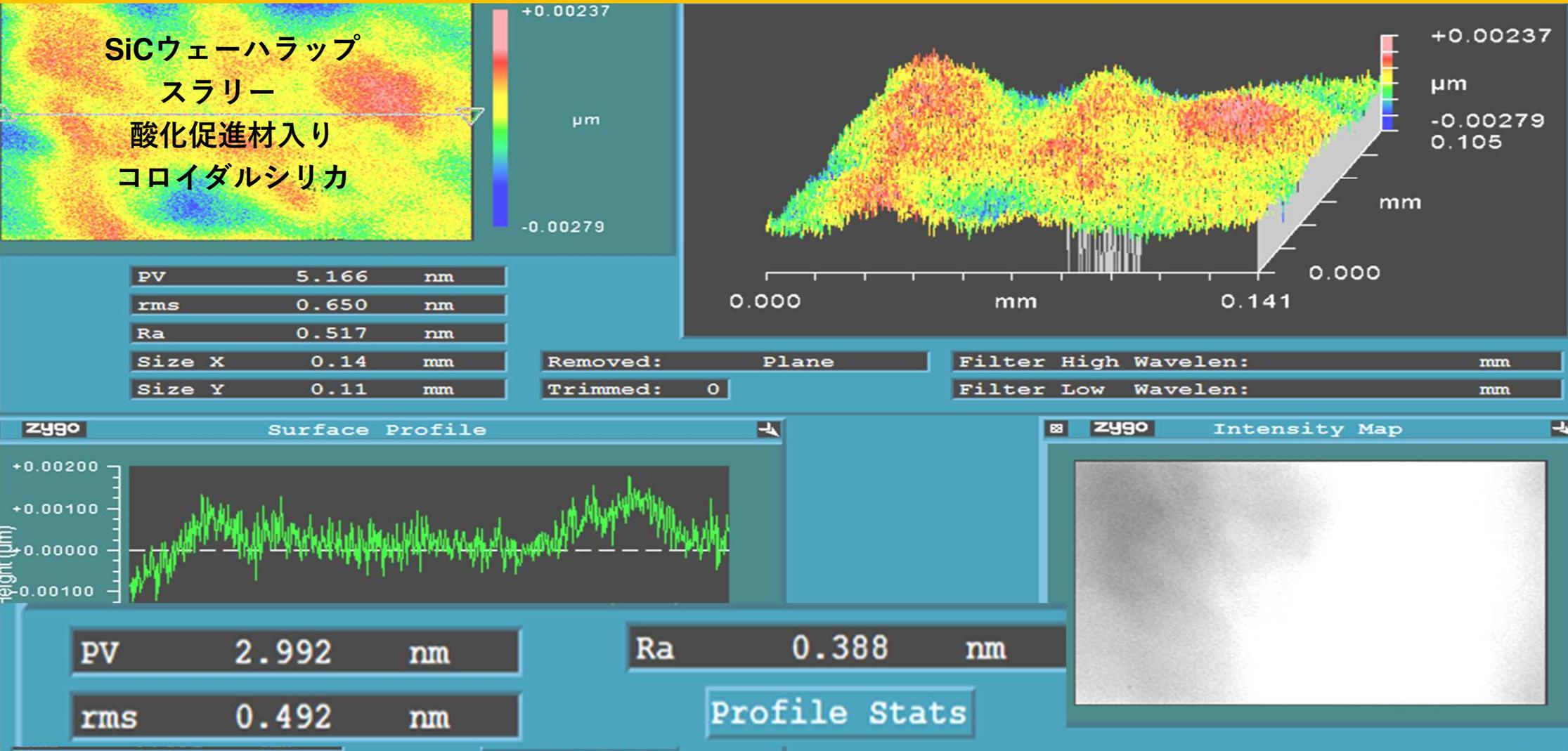
岡山大学

産総研

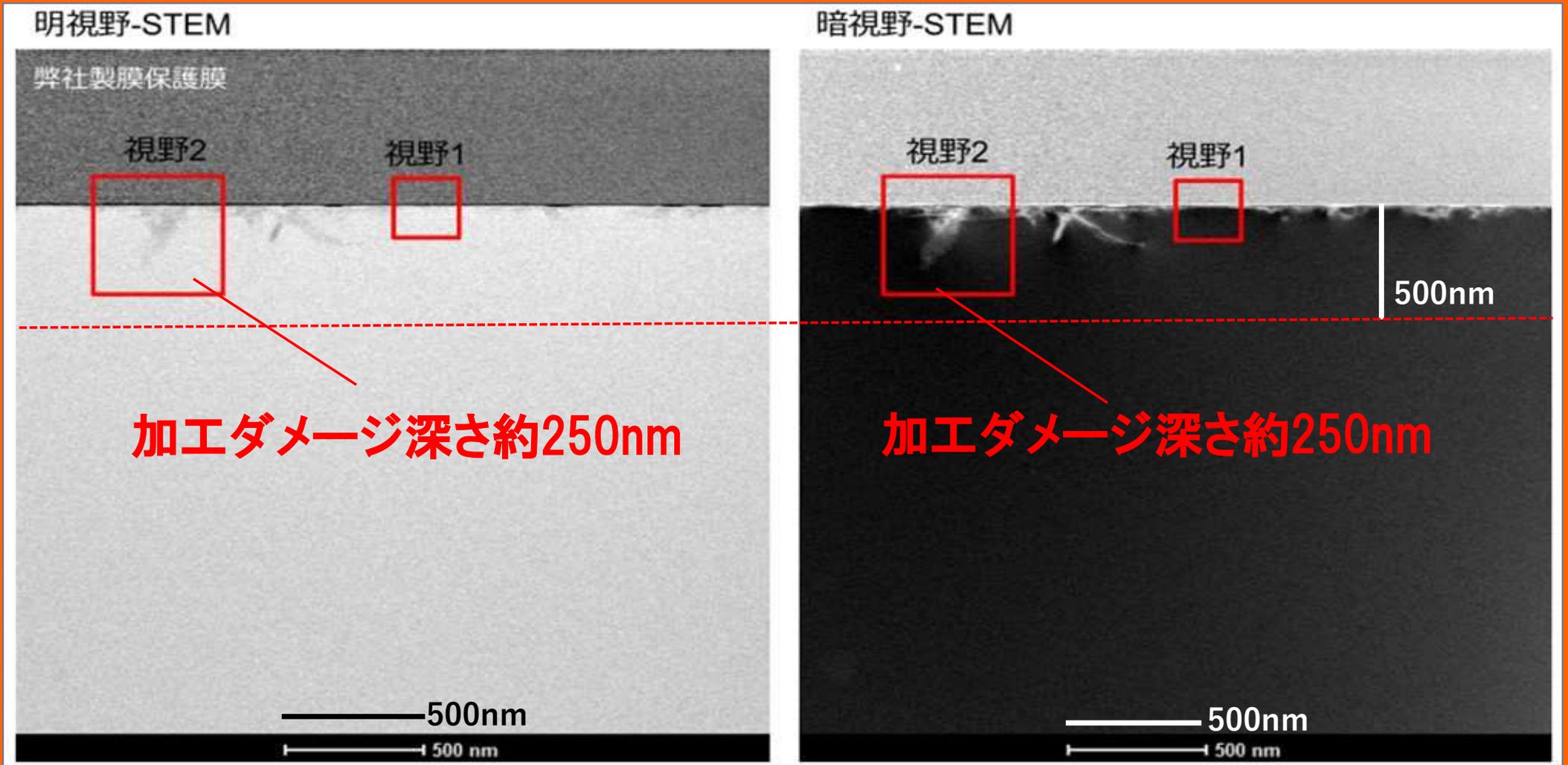
住化分析センター

PV	41.09 nm	8.62 nm	48.43 nm
Ra	0.66 nm	0.87 nm	0.81 nm

Polishing Pad less ラッププレート テスト結果

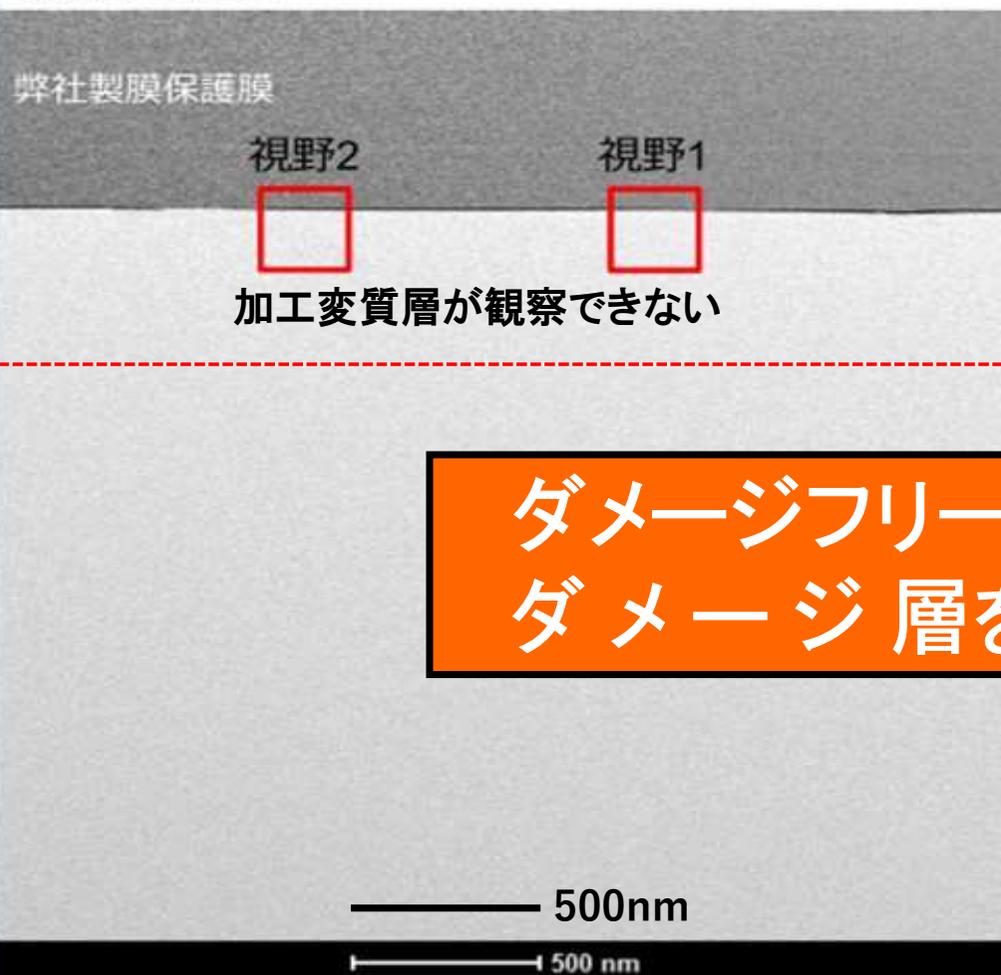


TEMによる断面写真の観察 SiC Si面 #3000

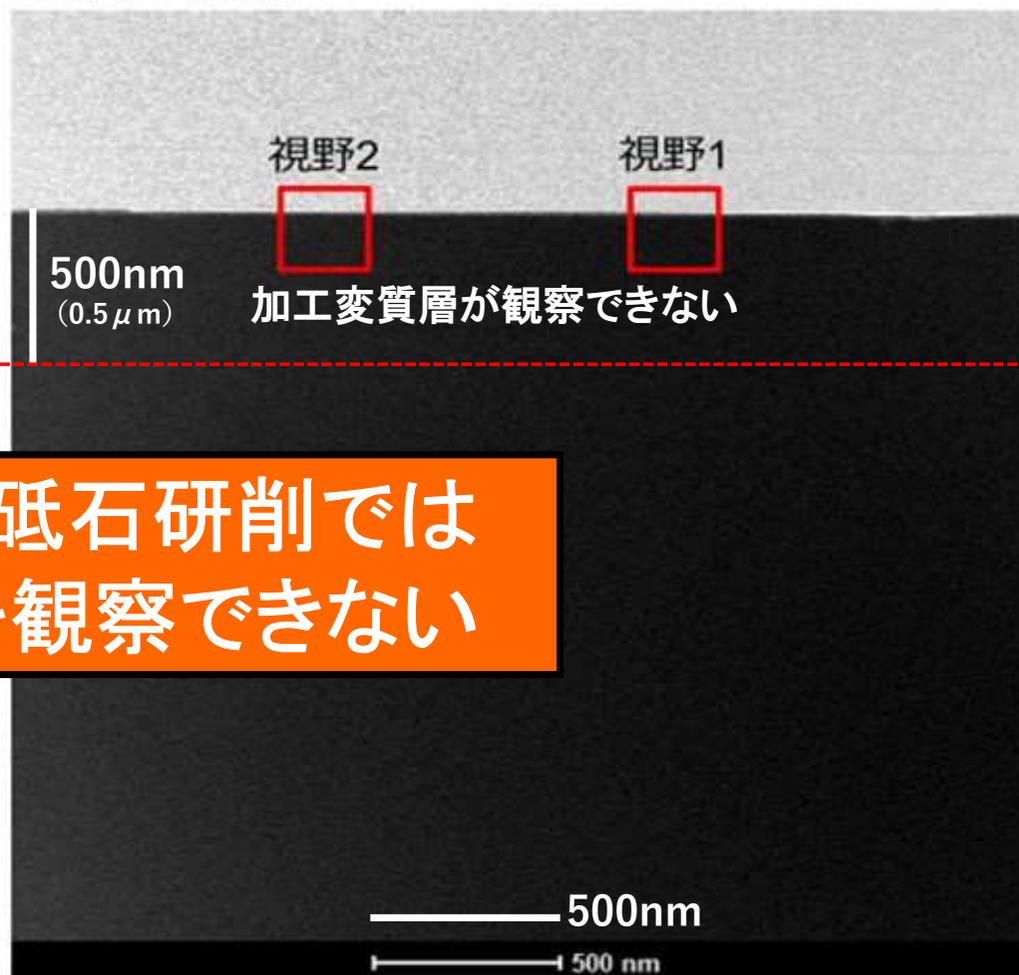


TEMによる断面写真の観察 SiC Si面 RG-PCD—6 μm

明視野-STEM

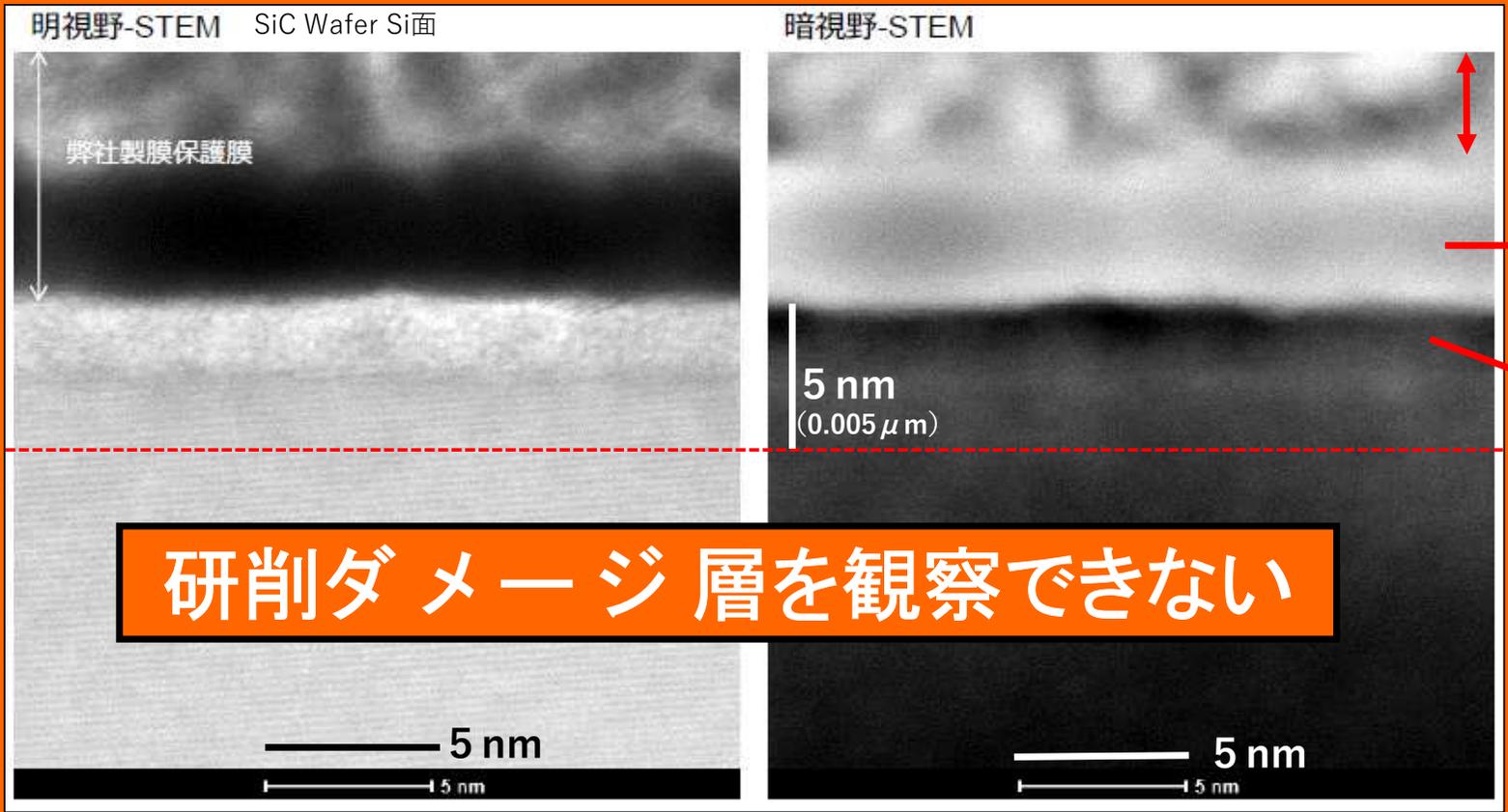


暗視野-STEM



ダメージフリー砥石研削では
ダメージ層を観察できない

TEMによる断面と真の観察 SiC Si面 RG-PCD-6 μm



Pt蒸着膜

Ptスパッタ膜

自然酸化膜

研削ダメージ層を観察できない

明瞭な結晶格子

計測：住化分析センター

一定圧力 スラリー研削 ダメージフリー砥石 テスト結果

SiC 研磨の加工条件

	1 工程	2 工程	3 工程
条件項目	粗研削 定速タイプ	仕上げ研削 定圧タイプ	メカノケミカルラップ
砥石番手	#3000	RG-PC 6 μ m	砥石なし
プレート材質	レジンボンド	ダメージフリー砥石 RG-PCD 6 μ m	MCL - Cプレート
スラリー液	ダイヤモンド	ダイヤモンドスラリー	酸化促進材入りシリカ
砥粒供給装置	ダイヤモンドポンプ	ダイヤモンドポンプ	ナドリッパ VP-2401
スラリー滴下量	5L/min 冷却循環	5L/min 冷却循環	間欠供給 5ml/min
加工変質層	約260nm	TEM 写真ほぼゼロ	TEM 写真ほぼゼロ
表面粗さ	PV \leq 200 nm Ra \leq 20 nm	PV \leq 5.39nm Ra \leq 0.6nm	PV \leq 3 nm Ra \leq 0.3 nm
装置名	Grind Lap CEP-3X	Grind Lap CEP-3X	FT-460 MCP ケミカル仕様
砥石回転数	2,000rpm	2,000rpm	-
定盤回転数	500rpm	500rpm	60rpm
荷重量	定速研削	1000g/cm ²	500g/cm ²
ワーク回転数	500rpm	500rpm	60rpm
切込み速度	25 μ m/min	0.2 μ m/min	2 μ m/Hour
加工量	100 μ m	10 μ m	2 μ m
加工時間	4分	50分	60分



左軸
定速軸



右軸
定圧軸



2軸グラインドラップ

1 工程 2 工程



ラップ盤 ケミカル仕様 オール塩ビ被覆

3 工程

ダメージフリー砥石

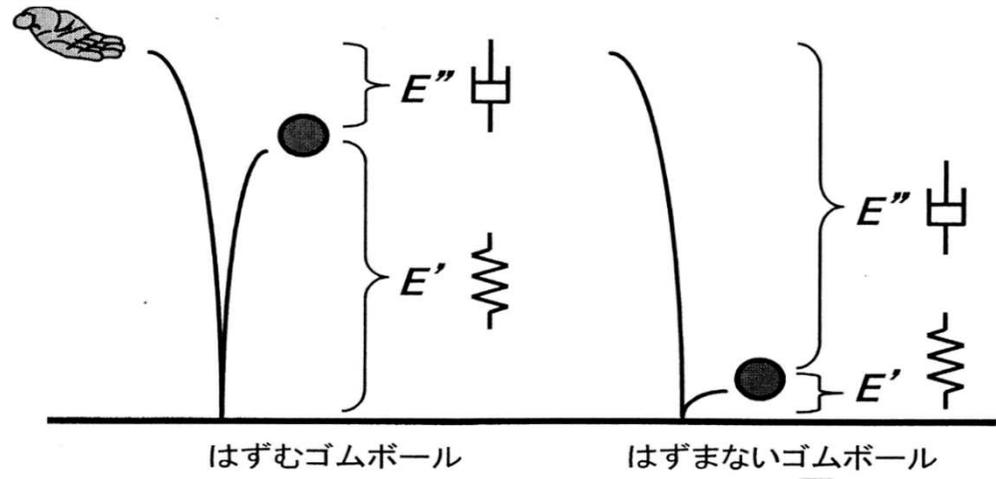
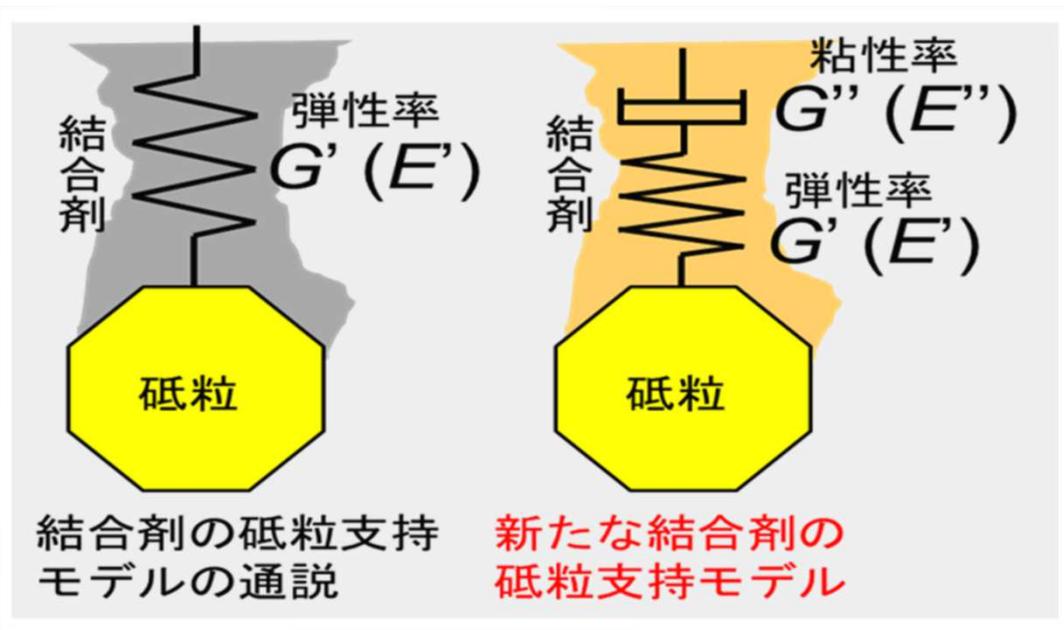
GL用 硬くて粘い熱可塑性砥石

砥石の
特徴

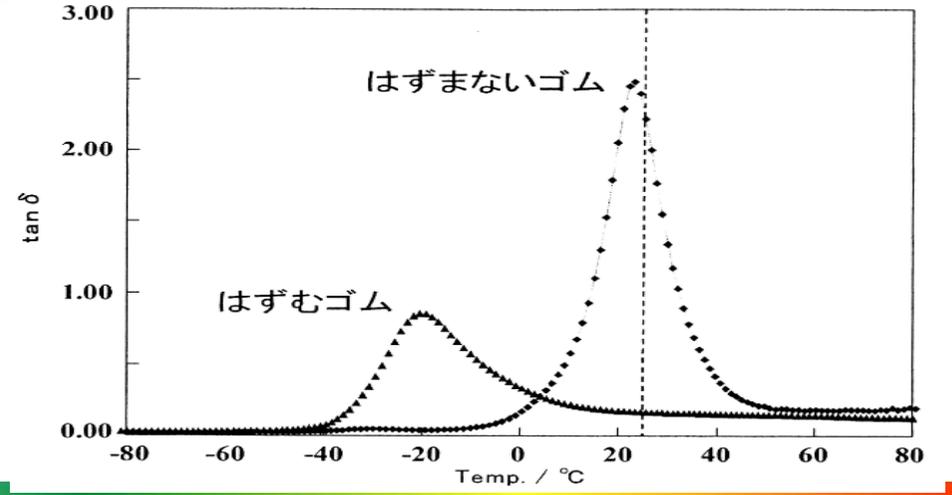
弾性と反発力
粘性と応力緩和

弾性力の反発と 粘性力の応力緩和砥石である

砥石粘弾性モデル



$\tan \delta = \frac{E''}{E'} = \text{小}$ $\tan \delta = \frac{E''}{E'} = \text{大}$



結合剤	ビトリファイド	レジノイド	熱可塑性樹脂
弾性率	高	高	中
応力緩和 (tan δ)	無 (極めて低い)	わずか (低い)	あり (高い)
表面粗さ	粗い	やや粗い	良好

岡山大学 大橋教授作成

弾性能力と粘性能力の応用

弾性力

= 反発力さを研磨レートUP

砥石の弾性力の硬さ反発力を研磨加工レートに変え
砥石の粘性力の柔らかさ応力緩和性を面粗さに変える

粘性力

= 粘さを表面粗さUP

加工レートを優先させる砥石
弾性力 + 粘性力

表面粗さを優先させる砥石
粘性力 + 弾性力

GL (グラインドラップ)

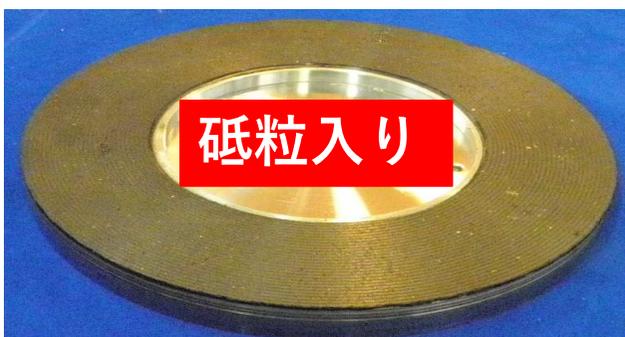
GL用 **硬くて粘い熱可塑性**砥石応用

砥石材料の
応用

ラップ加工に向けて
硬くて粘いラップ定盤製作

ダメージフリー砥石応用 砥粒入り定盤

鏡面研磨用ラッププレート for Si / SiC / GaN / Al₂O₃ Wafer



特徴

Si / SiC / GaN / Al₂O₃
超仕上げ 鏡面ラッピング定盤

加工変質層 が出ない定盤

加工スピードが速い定盤

砥粒入り定盤

温度の影響を受けにくい定盤

【製品の特徴】

ダメージフリーラッピングプレートの最大の特徴は、新開発した熱可塑性ロジンボンディングにより、加工温度の影響を受け難い常温～60℃程度まで耐えられる砥粒入りプレートにいたしました。

砥粒が埋め込まれているため、従来の加工速度の約5倍程度の速さにラッピング鏡面加工を実現いたします。

加工ダメージを低減し、表面粗さをRa0.6nmまでに磨き上げる鏡面加工ができるようになりました。

ロジンボンディングは光学研磨の最高峰のピッチ研磨技術を基礎に応用展開し、砥粒入りプレート化に成功させた初めての熱可塑性鏡面ラッピング研磨定盤であります。

砥材はダイヤモンドからアルミナ、シリカ、酸化セリウムと種類が豊富な事と#番手サイズも自由に選択が可能な定盤です。

粗研磨から仕上げ研磨まで粘弾性の調整で選択できます

Chemical Mechanical Lapping Plate

ポリッシングパッドレスプレート

Ra

ピコメーター



ピコメーターオーダーにチャレンジ

スラリーを問わない ポリッシングパッドレスプレート
各種スラリーに柔軟に対応

- コロイダル・シリカ
- 酸化セリウム
- ヒュームドシリカ
- 高純度アルミナ
- ダイヤモンド
- 高純度アルミナ

Type of Plate	Material
CML-C PLATE	SiC, AlN wafer
CML-S PLATE	LN / LT wafer
CML-H PLATE	Sapphire wafer
CML-M PLATE	Quartz, Silicate
CML-P PLATE	Si / GaAs wafer

1. ラッピングでポリッシュ並みに鏡面研磨加工
2. ポリッシングパッドはもう不要
3. 劇的なプロセス時間の短縮を実現
4. 加工による表面ダメージと加工段差発生を低減

金属バージョン

錫合金と錫合金ボール
を利用した砥石とラッププレート

GL用 **硬くて粘い** 金属

硬くて粘い金属の
応用

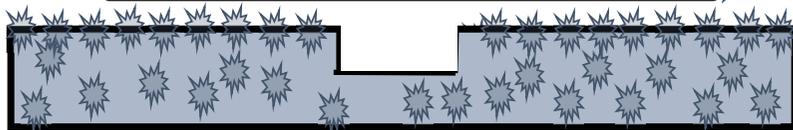
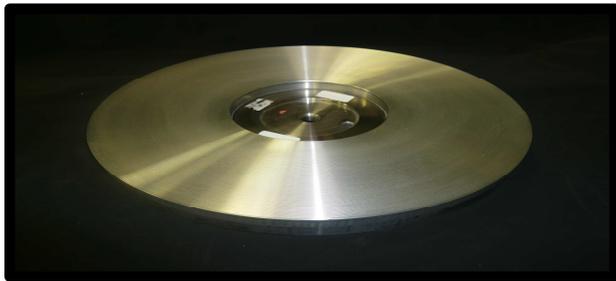
ラップ加工に向けて
硬くて粘い ラップ定盤製作

グラインドラップ砥石・砥石ラップ定盤

グラインドラップ研削砥石

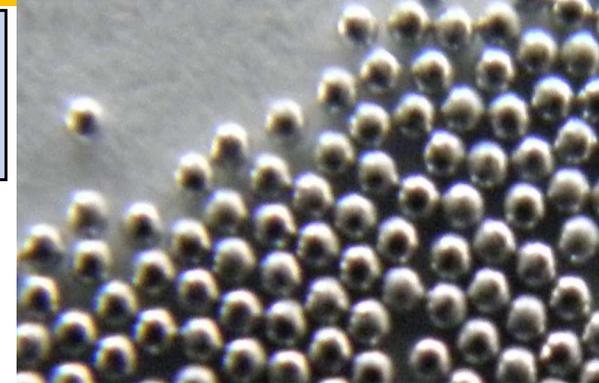
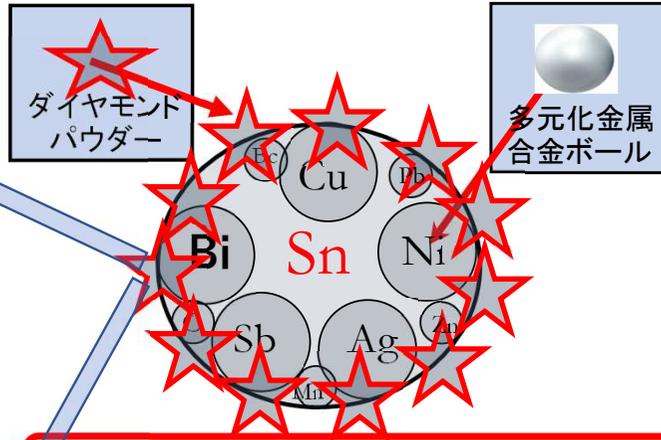


ラップ砥石定盤



Tin Alloy 103S Grind Lapping Plate

ダイヤモンド錫合金ボール 特許取得



錫合金ボール砥石・ラッピングプレートの特徴

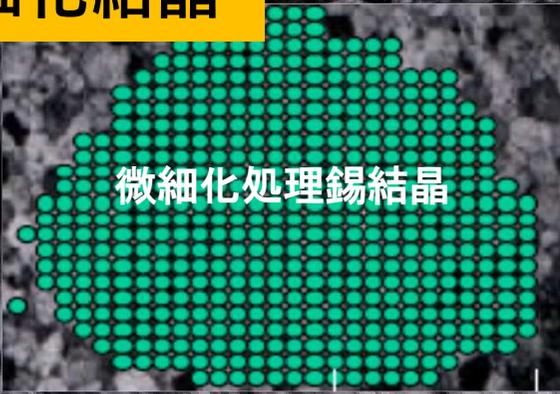
研削レベルでは不可能であった鏡面研削を錫合金にミクロンダイヤモンドパウダーを埋めこみ鏡面研磨を実現した砥石ラッピングプレート(グラインドラッププレート)です。

多元化金属錫合金ボールの開発により、プレートに埋め込んだ固定砥粒とスラリー滴下による遊離砥粒の同時研磨加工です。

熱可塑性ボンドと錫ボールでダイヤモンド砥粒をグリッパし遊離砥粒の特徴を生かしたインプロセスドレッシング効果と自生作用の促進効果も可能です。

微細化結晶

微細化処理錫結晶



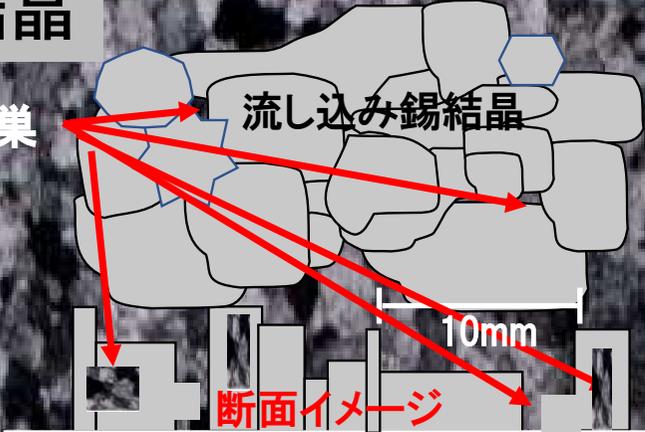
断面イメージ



結晶

巣

流し込み錫結晶



断面イメージ

粒界段差と巣が発生しやすい

錫合金プレート結晶

微細化結晶

微細化結晶の作り方

- 1, 高周波振動
- 2, 急冷
- 3, 3元以上合金化
- 4, 鍛造処理

- 1, 結晶サイズが小さくなる
- 2, 粒界段差が低減される
- 3, 結晶サイズが揃ってくる
- 4, 結晶の硬さが揃う
- 5, 巣の発生率が減少する

結晶

通常の流し込み

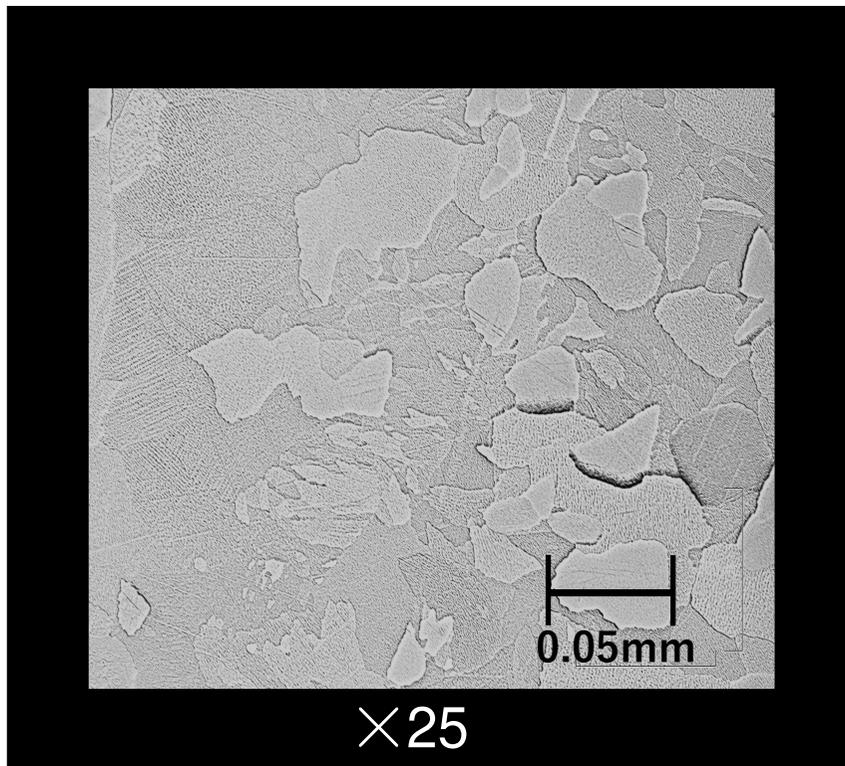
- 1, 湯流し
- 2, 自然冷却
- 3, 純錫

- 1, 結晶サイズが冷却される温度順に固まる
- 2, 粒界段差が大きい
- 3, 結晶サイズが異なる
- 4, 結晶サイズよりの硬さが異なる
- 5, 巣の発生率が多い

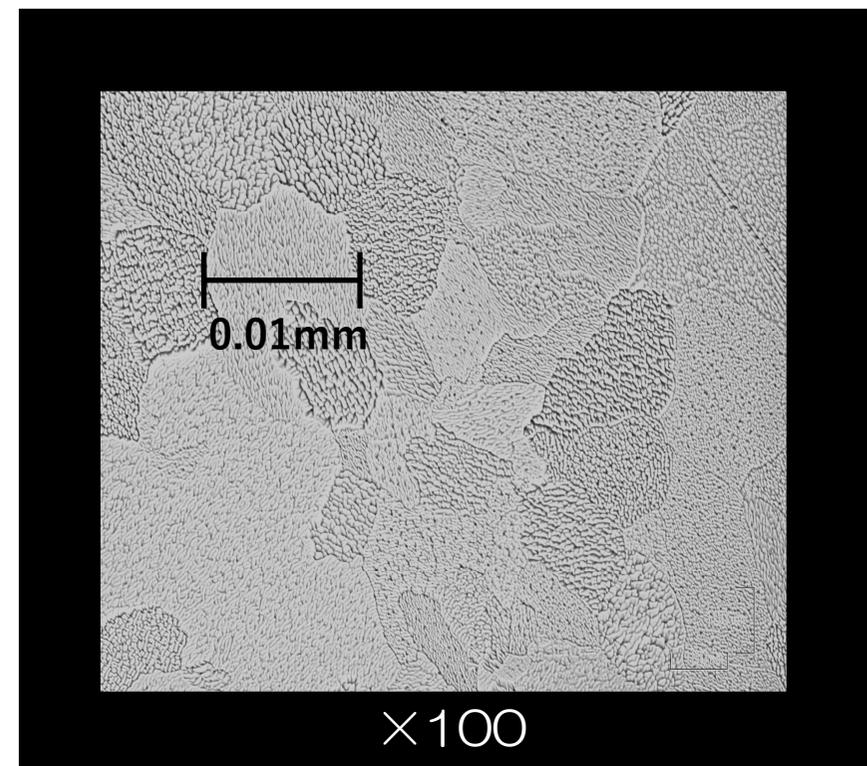
結晶粒界段差写真

結晶粒界段差

①Sn95% Bi2% Sb3%



②Sn98% Bi2%



GL用 **硬くて粘い** 金属を訪ねて

理想的なラッププレート
はなにか？

硬度が高く、粘さのある合金が加工
レート向上と表面粗さの向上のコツ。

試験ピースの種類

状態図は3元以上の参考になる情報が少ない

材質	錫	ビスマス	アンチモン	銅	鉛
	Sn	Bi	Sb	Cu	Pb
A	98	2	-	-	-
B	95	2	3	-	-
C	93	2	3	2	-
D	96.9	2	1	0.1	-
E	93	1	1	-	5
F	90	5	-	-	5
G	100	-	-	-	-
H	95	2	2	1	-
I	92	3	3	2	-

多元合金試験

その他の材質 | 砲金/真鍮 | 亜鉛 | ニッケル

多元金属化するほど硬度が上がる

弾性力

粘い金属同士の多元合金化

粘性力

試験機

荷重試験

島津微小強度評価試験機（最大荷重200Kg）

マイクロオートグラフ MST-I

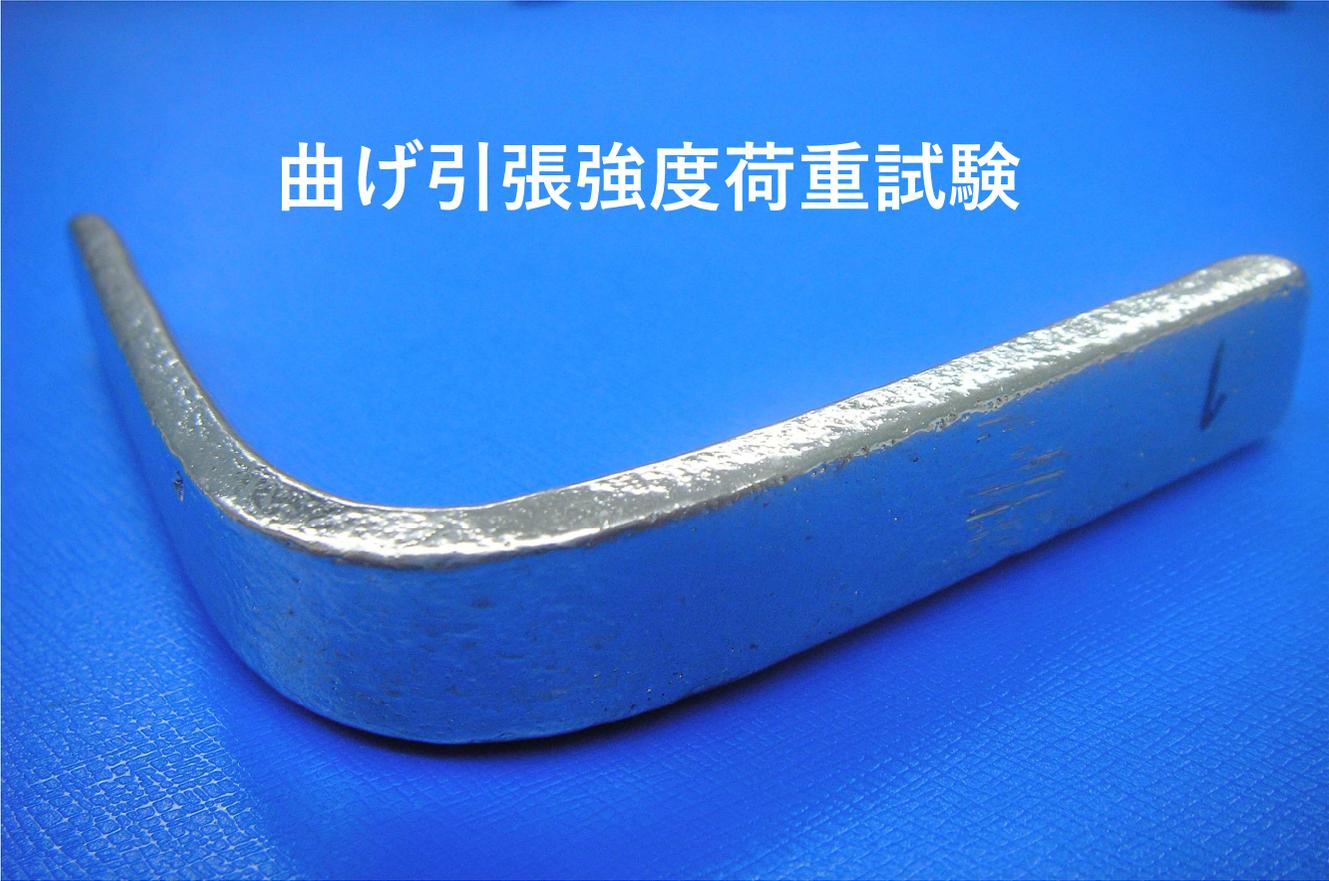


荷重試験

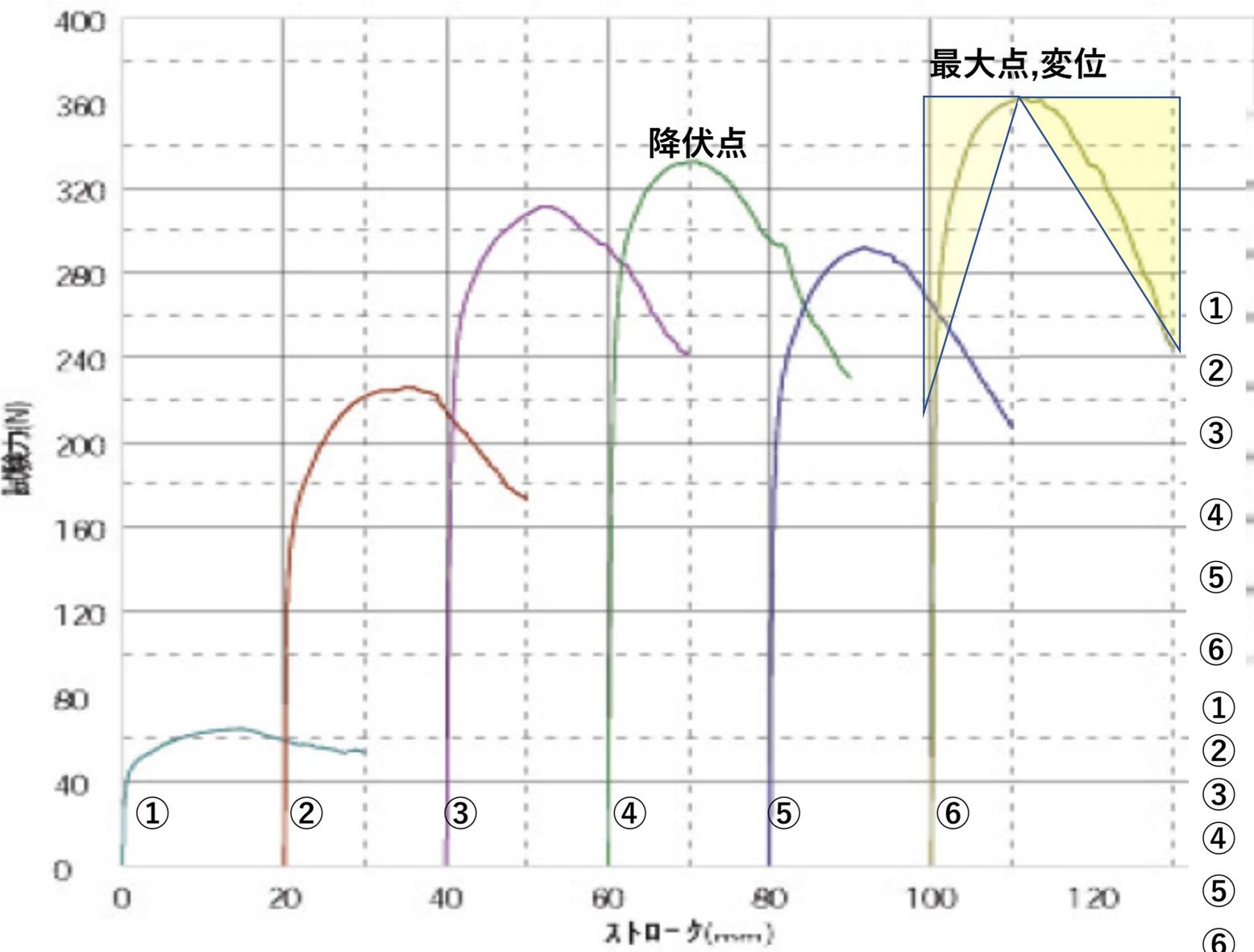
測定結果

①Sn95% Bi2% Sb3%
最大荷重 304.4N (≒31.1Kg)
最大変位 14.0mm

②Sn98% Bi2%
最大荷重 282.4N (≒28.8Kg)
最大変位 12.8mm



荷重試験



名前 単位	最大点_試験力 N	最大点_変位 mm
① S _n 100	64.4375	14.3309
② S _n 98 B _i 2	225.938	15.4331
③ S _n 93 S _b 6 B _i 1	311.688	12.6327
④ S _n 91 S _b 6 C _u 3	332.688	11.0264
⑤ S _n 97.5 B _i 2 C _u 0.5	291.750	11.7242
⑥ S _n 95 S _b 2 B _i 2 C _u 1	362.375	11.7116

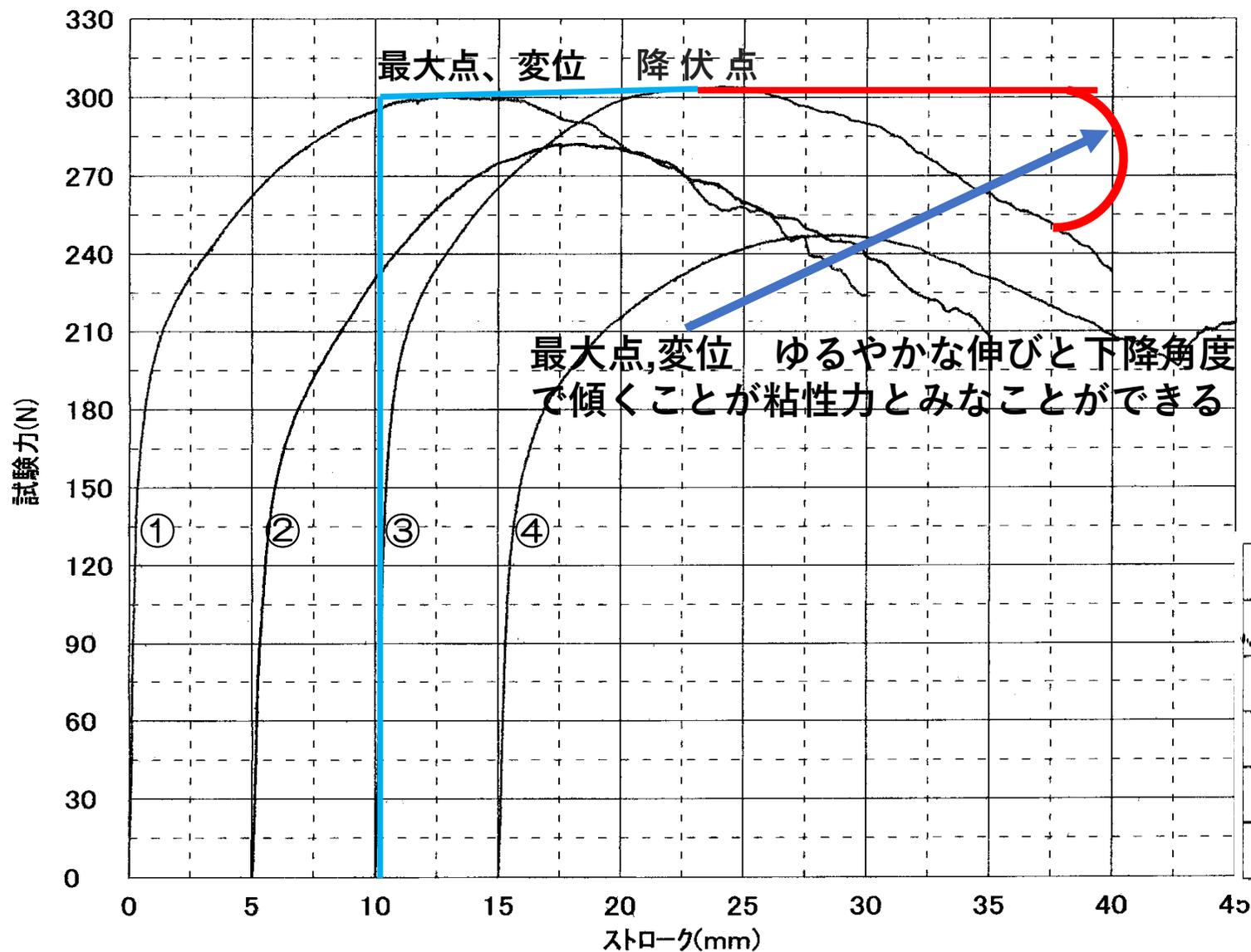
- ① S_n100
- ② S_n98 B_i2
- ③ S_n93 S_b6 B_i1
- ④ S_n91 S_b6 C_u3
- ⑤ S_n97.5 B_i2 C_u0.5
- ⑥ S_n95 S_b2 B_i2 C_u1

荷重試験

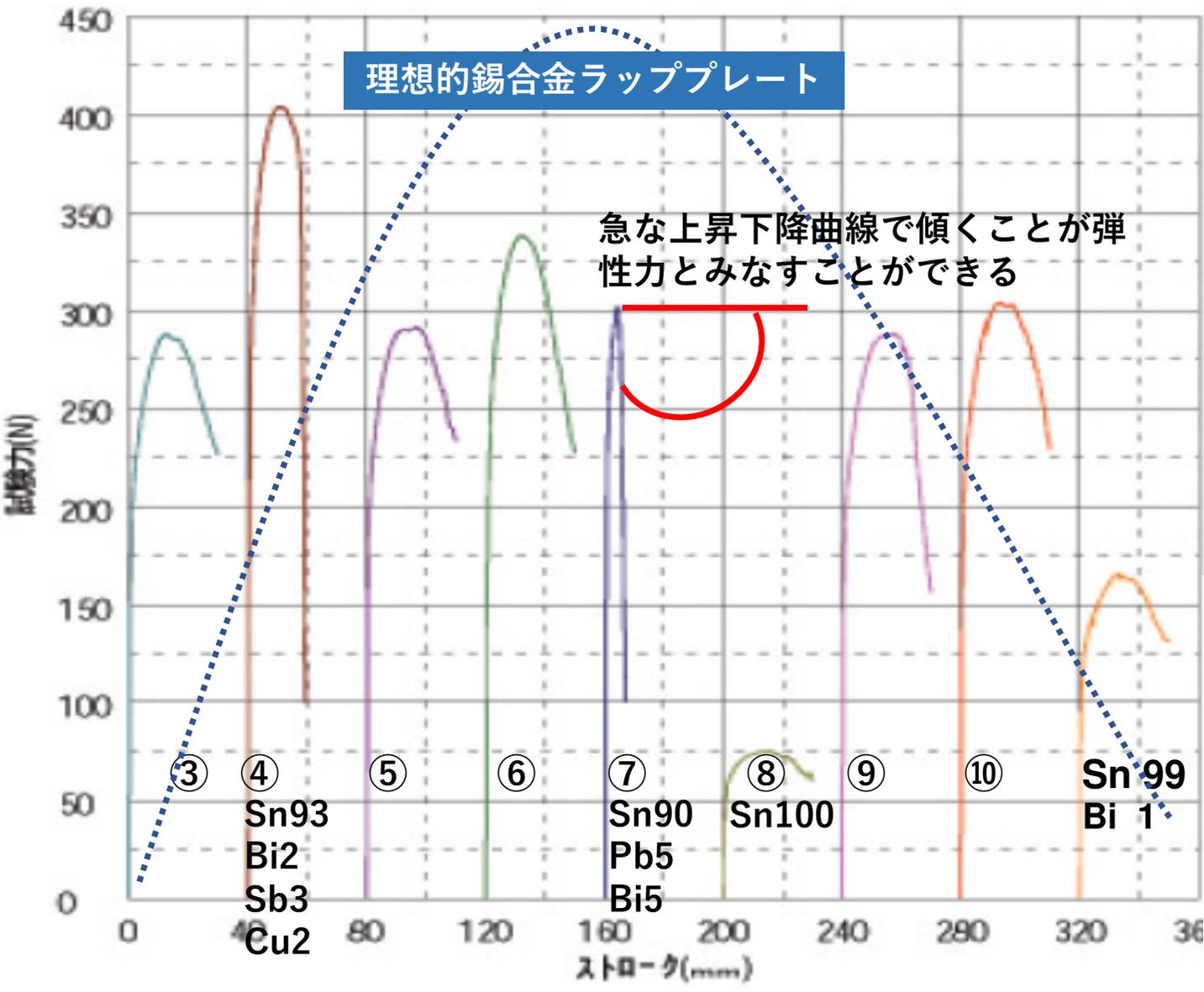
最大試験力 = 弾性反発力
 最大点変位 = 粘性応力緩和

- ① ——— Sn95 Bi2 Sb3 -1
- ② ——— Sn98 Bi2 -1
- ③ ——— Sn95 Bi2 Sb3 -2
- ④ ——— Sn98 Bi2 -2

名前 単位	最大点試験力 N	最大点変位 mm
Sn95 Bi2 Sb3 -1	300.750	12.8385
Sn98 Bi2 -1	282.438	12.8303
Sn95 Bi2 Sb3 -2	304.375	14.0466
Sn98 Bi2 -2	247.563	13.6015



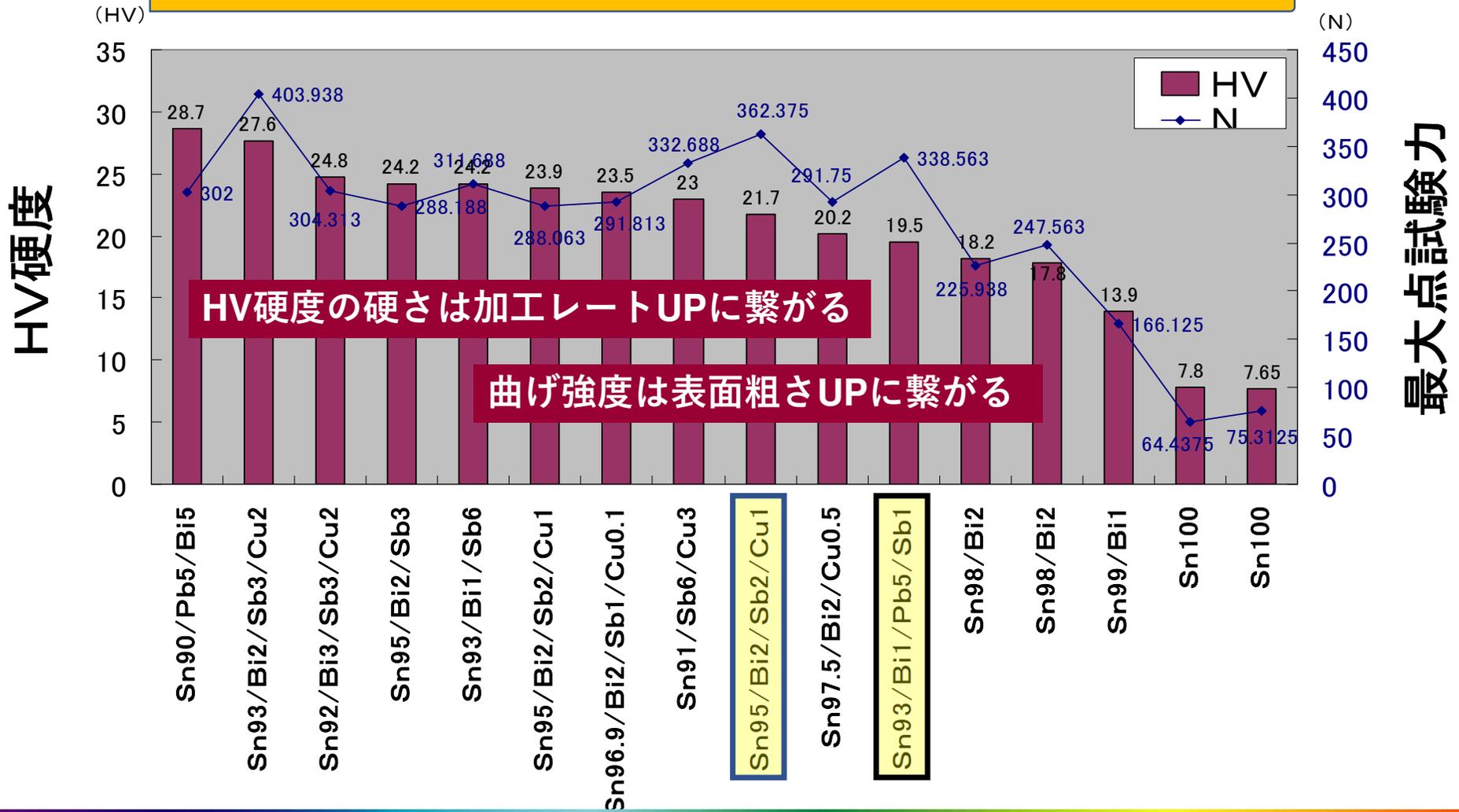
荷重試験



- ③ Sn95 Bi2 Sb3
- ④ Sn93 Bi2 Sb3 Cu2
- ⑤ Sn96.9 Bi2 Sb1 Cu0.1
- ⑥ Sn93 Pb5 Bi1 Sb1
- ⑦ Sn90 Pb5 Bi5
- ⑧ Sn100
- ⑨ Sn95 Bi2 Sb2 Cu1
- ⑩ Sn92 Bi3 Sb3 Cu2
- Sn99 Bi1

名前 単位	最大点 試験力 N	最大点 変位 mm
③ Sn95 Bi2 Sb3	288.188	12.6479
④ Sn93 Bi2 Sb3 Cu2	403.938	10.9909
⑤ Sn96.9 Bi2 Sb1 Cu0.1	291.813	16.6637
⑥ Sn93 Pb5 Bi1 Sb1	338.563	12.3843
⑦ Sn90 Pb5 Bi5	302.000	4.47738
⑧ Sn100	75.3125	15.9755
⑨ Sn95 Bi2 Sb2 Cu1	288.063	17.5716
⑩ Sn92 Bi3 Sb3 Cu2	304.313	13.4979
Sn99 Bi1	166.125	12.8815

錫合金のHV硬度試験と曲げ強度試験



ご清聴ありがとうございました。