

平成29年度  
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業  
戦略的基盤技術高度化支援事業

「次世代パワーデバイス用SiC/GaN基板の大口径化を実現する高  
品質、低コスト量産化加工技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成30年3月

担当局 中部経済産業局  
補助事業者 公益財団法人岐阜県産業経済振興センター

## 目 次

第1章 研究開発の概要	
・ 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	4
・ 1-2 研究体制	6
1) 研究組織（全体）	6
2) 管理体制	6
(1) 体制図	6
①事業管理機関	6
②研究実施機関	6
(2) 管理員及び研究員	8
1) 事業管理機関	8
2) 研究実施機関	8
(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名	9
・ 1-3 成果概要	10
・ 1-4 当該研究開発の連絡窓口	12
第2章 本論	13
・ 【1】 研削工程技術の開発	13
【1-1】 粗加工における高加工レートを實現する砥石の開発及び検証に対する成果	13
統計的手法による、研削面のシミュレーション技術の開発	13
砥石摩耗量検証	14
【1-2】 SD30000 仕上げ加工における内部ダメージレスを實現する砥石の開発及び検証に 対する成果	15
加工レートと砥石摩耗の関係の検証	15
仕上げ用砥石の表面粗さの検証	16
ウエハ表面の研削痕・キズの検証	18
SD30000 仕加工後の SSD（サブサーフェスダメージ層）の評価	19
【1-3】 研削工程におけるCFRP材のウエハ保持具の開発に対する成果	20
・ 【2】 CMP 工程技術の開発に対する成果	21
CFRP材のウエハ保持治具を使用した高加工レート条件の検証	21

・【3】ウエハの品質保証の確立	24
設備の導入	24
金属汚染対策	25
ウエハ精度 (TTV、LTV、SORI)	28
第3章 全体総括	30
・【1】研究開発成果総括	30
・【2】研究開発後の課題・事業化展開	31

## 第1章

### 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

SiC や GaN 基盤の次世代高出力パワー半導体を実用化するために研究開発が国家プロジェクトレベルで進められてきたが、デバイスメーカーがデバイスを製造するにあたって、ウエハメーカーから供給されるウエハの品質（平坦度やS O R I）・内部欠陥(sub-surface damage 以下 SSD)の影響で歩留まりが悪く、供給ウエハの品質向上が望まれている。

また、ウエハの研削・研磨の加工工程においては、ウエハ保持方法として WAX 接着が採用されているため接着前後の洗浄では有機溶剤を使用している。さらに、ウエハの高品質化加工のために加工が長時間化し、それに伴って必要な遊離砥粒も増加しており、産業廃棄物の削減とのジレンマがある。

川下企業のニーズとして、特にデバイスメーカーはウエハメーカーから供給されるウエハについて品質の向上と低コスト化を要望している。現状はウエハメーカーより購入したウエハを外注先にて再度 CMP 工程を実施し、自社の品質基準を満たす物だけ次工程に流している。次世代高出力パワー半導体の普及拡大にはコストダウンは必須であり、そのためにも高品質で・低コストのウエハ供給が望まれている。

このような状況下、産学連携の元で開発された定量・定圧超精密複合研削加工技術をさらに発展させ、専用の高番手パターン砥石、並びに高負荷加工対応C F R P保持治具を新たに開発し、今後需要が急増するS i C / G a Nウエハの高エネルギー・高品位平面研削加工、並びに最終研磨加工に適用する。そして大口径ウエハの高品質、低コスト量産化加工工程を確立するとともに、ウエハ再生加工へも展開し、次世代パワーデバイスの実用化と用途拡大に貢献する。

なお、具体的な技術的目標値と実施内容は、表1、表2のとおりである

表 1

サブ テーマ	項目	現状値	目標値	根拠
【1-1】	砥石摩耗量	26 $\mu$ m	9 $\mu$ m	現状の摩耗量に対して 1000 円/枚を達成する為の摩耗量
【1-2】	ウエハ SSD 量	100nm	70nm	ダメージ層=コストなので 2~3 割削減を目標
【1-3】	治具 平行度	20 $\mu$ m	2 $\mu$ m	1/10 を目標とする
	治具 平面度	20 $\mu$ m	2 $\mu$ m	1/10 を目標とする
【2】	加工レート	0.1 $\mu$ m/Hr	0.13 $\mu$ m/Hr	コスト 2~3 割削減を目標。加工レート削減研磨スラリー使用量減となりコストを抑えることが可能。
【3】	ウエハ TTV	10 $\mu$ m	5 $\mu$ m	1/2 を目標とする
	ウエハ LTV	3 $\mu$ m	2 $\mu$ m	1/2 を目標とする
	ウエハ SORI	50 $\mu$ m	25 $\mu$ m	1/2 を目標とする

表 2

実施内容	初年度	第二年度	第三年度
1-1 粗加工における高加工レートを実現する砥石の開発及び検証	—————→		
1-2 仕上げ加工における内部ダメージレスを実現する砥石の開発及び検証	—————→		
1-3 研削工程における CFRP 材のウエハ保持具の開発	—————→		
2 CMP 工程技術の開発	—————→		
3 ウエハの品質保証の確立	—————→		
4 プロジェクトの管理 ・研究開発委員会の開催	—————→		

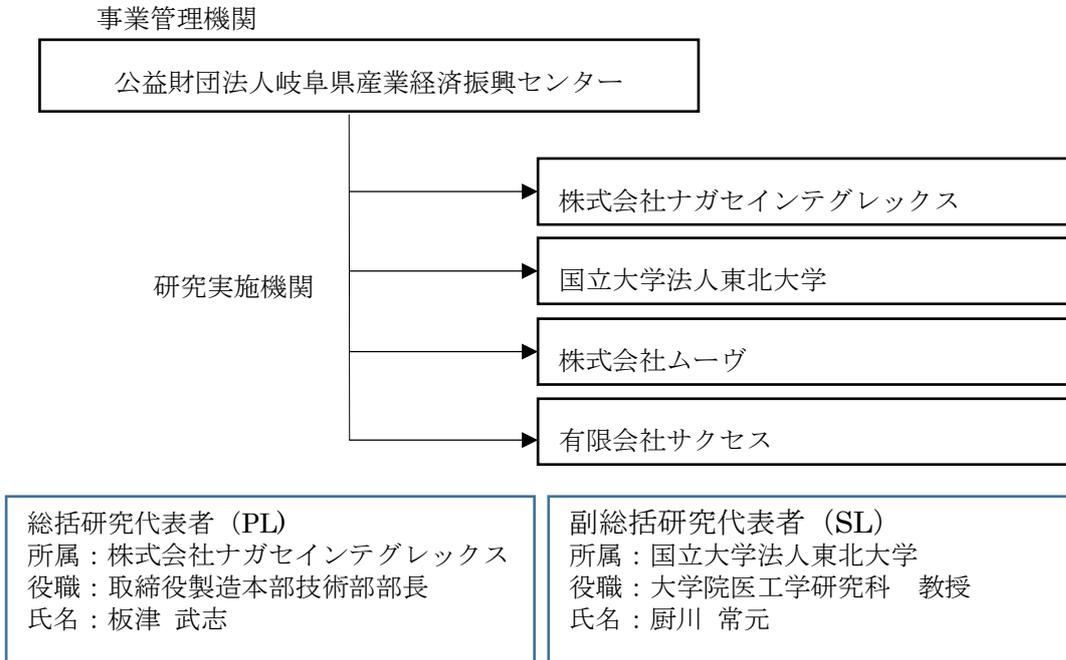
《実施内容》

- 1-1 粗加工における高加工レートを実現する砥石の開発及び検証
- 1-2 仕上げ加工における内部ダメージレスを実現する砥石の開発及び検証
- 1-3 研削工程における CFRP 材のウエハ保持具の開発
- 2 CMP 工程技術の開発
- 3 ウエハの品質保証の確立
- 4 プロジェクトの管理・運営

## 1-2 研究体制

(研究組織・管理体制・研究者氏名・協力者)

### 1) 研究組織 (全体)

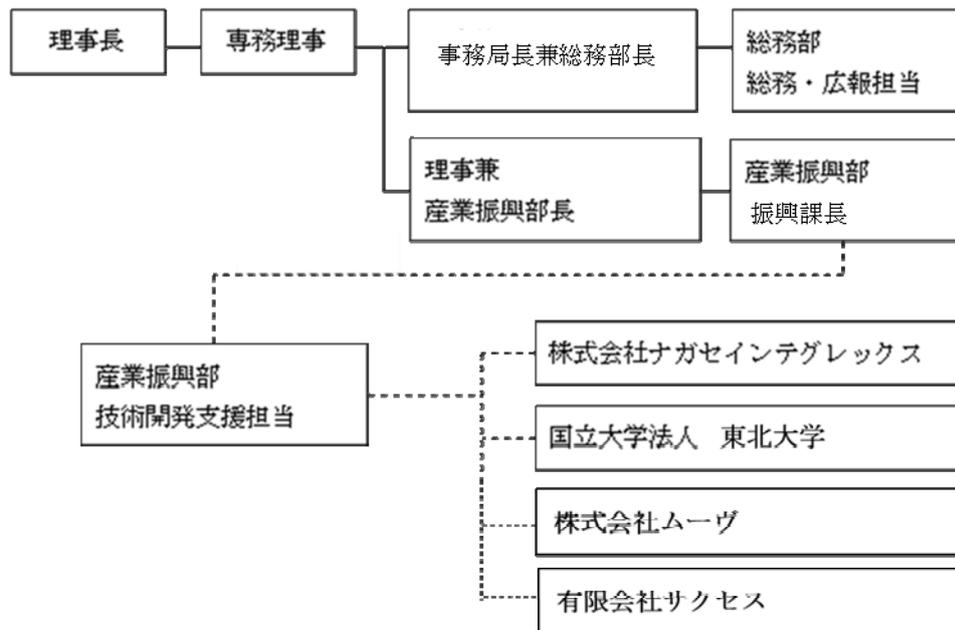


### 2) 管理体制

#### (1) 体制図

##### ①事業管理機関

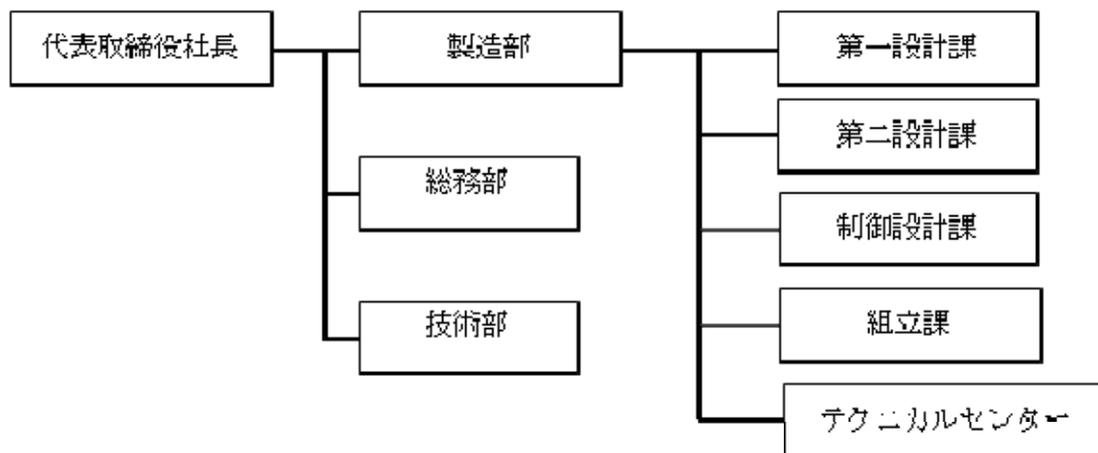
公益財団法人岐阜県産業経済振興センター



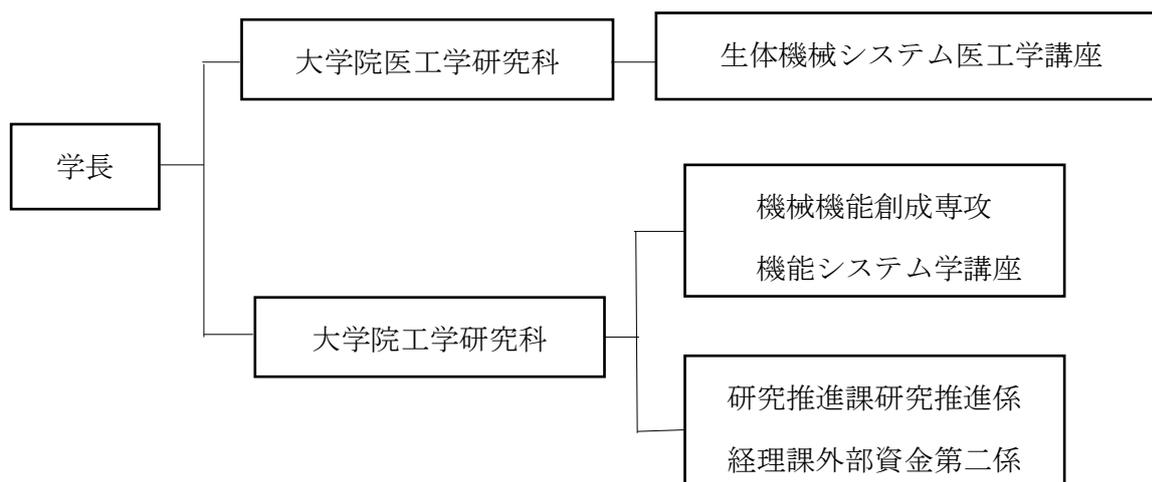
②研究実施機関

体制図

株式会社ナガセインテグレックス



国立大学法人 東北大学



株式会社ムーヴと有限会社サクセスは代表取締役のみの体制

(2) 管理員及び研究員

1) 事業管理機関

公益財団法人岐阜県産業経済振興センター

氏名	所属・役職	実施内容
柴田 英明	理事兼産業振興部長	④
野口 昌良	産業振興部振興課長	④
小川 誠	産業振興部振興課統括主査	④
戸松 薫	産業振興部振興課主事	④
戸崎 康成	産業振興部振興課管理員	④
芳岡 康郎	産業振興部振興課管理員	④
国枝 信男	産業振興部振興課管理員	④
水野 善介	産業振興部振興課管理員	④
内田 昌宏	産業振興部振興課管理員	④
平光 己朗	産業振興部振興課管理員	④
杉山 政敏	産業振興部振興課管理員	④
後藤 満	産業振興部振興課管理員	④

2) 研究実施機関

株式会社ナガセインテグレックス

氏名	所属・役職	実施内容
長瀬 幸泰	代表取締役社長	①-1, 2, 3、②、③
板津 武志	取締役技術部 部長	①-1, 2, 3、②、③
渡辺 一人	製造部 テクニカルセンター長	①-1, 2, 3、②、③
橋田 崇	製造部 テクニカルセンター	①-1, 2, 3、②、③
井村 諒介	技術部制御設計課	①-1, 2, 3、②、③
新井 可綾	製造部 テクニカルセンター	①-1, 2, 3、②、③

株式会社ムーブ

氏名	所属・役職	実施内容
長瀬 幸泰	代表取締役	①-1, 2、②、③

有限会社サクセス

氏名	所属・役職	実施内容
酒井 慎介	システム理工学系 機械システム工学科助教	1, 2, 3 1, 2, 3

国立大学法人 東北大学

氏名	所属・役職	実施内容
厨川 常元	大学院医工学研究科機械生態機械システム医工学講座 大学院工学研究科機械機能創成専攻 教授	①-1, 2, ③
水谷 正義 嶋田 敬太	大学院工学研究科機械機能創成専攻 准教授 大学院工学研究科機械機能創成専攻 助教	①-1, 2, ③ ①-1, 2, ③

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

公益財団法人岐阜県産業経済振興センター

(経理担当者) 総務部 総務課 課長 熊崎 登

(業務管理者) 産業振興部振興課 統括主査 小川 誠

(研究実施機関)

株式会社ナガセインテグレックス

(経理担当者) 総務部部長 長野 義則

(業務管理者) 取締役製造本部技術部部長 板津 武志

株式会社ムーヴ

(経理担当者) 代表取締役 長瀬 幸泰

(業務管理者) 代表取締役 長瀬 幸泰

有限会社サクセス

(経理担当者) 代表取締役 酒井 慎介

(業務管理者) 代表取締役 酒井 慎介

国立大学法人東北大学

(経理担当者) 大学院工学研究科経理課 外部資金第二係長 及川 学子

(業務管理者) 大学院医工学研究科生体機械システム医工学講座

大学院工学研究科機械機能創成専攻機能システム学講座

教授 厨川 常元

### 1-3 成果概要

本研究は、その製造技術を事業化するものである。

#### 【1】 研削工程技術の開発

##### 【1-1】粗加工における高加工レートを実現する砥石の開発及び検証に対する成果

アズスライスの SiC ウエハを試作した CFRP 材のウエハ保持具にて保持し、次工程（仕上研削工程）の取り代とダメージ深さ・加工レートに対して、最適な砥石と加工条件を確立する。また、砥石摩耗量について、 $9\mu\text{m}$ 以下と目標値を設定した。

検証加工の結果、東北大学での仕上げ面シミュレーション法に基づき砥石の配列・数量を変える事で加工量（研削量と砥石摩耗の関係）も安定した。その時の砥石摩耗は  $4.5\mu\text{m}$  となり、目標値である  $9\mu\text{m}$  以下を達成した。

GaN ウエハについては、SiC ウエハと同等の結果が得られておらず、今後の課題であり、継続して開発をおこなっていく予定である。

##### 【1-2】SD30000 仕上げ加工における内部ダメージレスを実現する砥石の開発及び検証に対する成果

CMP 工程での取り代を極小にするためには、粗加工のダメージ層の除去ができ、且つ高加工レートで砥石摩耗の少ない仕上砥石（高番手）の選定が必要である。そこで、

【1-1】で加工したワークを仕上げ砥石にて研削し、砥石及び加工条件の検証を行う。検証では、①-3 で試作した CFRP 材のウエハ保持治具にて保持し、(株)ナガセインテグレーション既存機の NSF シリーズを加工に使用する。

本年度の加工検証の結果、砥石メーカーと協議・試作を繰り返し、砥石の砥粒が単体で脱落するよう特殊ボンド及び砥粒の分級精度を高め砥石を製作することで、仕上げ加工後のウエハ表面に目視で確認できたスクラッチキズが無くなり、表面粗さ測定器にて  $Ra0.6\text{nm}$  以下を安定して加工できる様になった。また SSD（サブサーフェスダメージ層）についても平均  $70\text{nm}$  以下と目標値を達成することができた。

##### 【1-3】研削工程における CFRP 材のウエハ保持具の開発に対する成果

保有するウエハ保持治具は、CMP 工程用であるため、研削工程向けではない。そのため、当該保持治具の原理を用いて、研削工程に最適な保持治具を開発する必要がある。

初年度は、研削加工に最適な CFRP 材の選定と研削加工用治具の試作を行い、治具平行度  $2\mu\text{m}$  以下、治具平面度  $2\mu\text{m}$  以下を達成し安定した品質の確保ができた。

## 【2】CMP 工程技術の開発に対する成果

CMP 工程用ウエハ保持治具を使用して加工検証を行った。保持治具については、バックパットの材質を改良することで、より高压に研磨時の負荷をかける事に成功し、更に研磨加工時に研磨スラリーと研磨助剤（過酸化水素水）を製作したスラリー循環装置から適量混合する事で加工レートを飛躍的に向上させる事が可能になった。

その結果  $0.33\mu\text{m/hr}$  を得る事が出来、技術的目標値を達成することが出来た。

しかし、バックパットの素材を変える事のデメリットとして、加工後のウエハ剥離時にウエハが割れてしまう現象が生じた。そこでバックパットをウエハのサイズより一回り小さくする事によって、ウエハに無理な力が働く事を無くしてウエハの破損を防いだ。

しかしこの作業により、CMP 工程で研磨スラリーが裏面の外周部に回り込み（バックパッドがウエハより小さいため）、洗浄工程に於いて除去出来ないと言う問題が発生した。これに対して（株）ナガセインテグレックスは簡易スクラブ洗浄機を試作・検証した結果、裏面の汚れはおおむね解消出来る事が確認できた。ウエハ保持治具については、今後も継続し改良をおこなっていく予定である。

## 【3】ウエハの品質保証の確立

本研究開発を事業化するにあたって、販売先向けにウエハの品質保証をすることが必須である。そこで、出荷までのラインの構築を行う。初年度は、最終的な出荷を見据えたウエハ品質保証のため、クリーンブース（可動式）及び精密加工ブース（可動式）、ウエハ平坦度測定機を導入した。当該設備を使用して、ウエハ品質保証を確立する。

目標値として、ウエハ TTV  $5\mu\text{m}$ 、ウエハ LTV  $2\mu\text{m}$ 、ウエハ SORI  $25\mu\text{m}$  を設定し加工検証をおこなった結果、それぞれ目標値を達成することができた。

ウエハ金属汚染については、対策として、グラインド研削水については、イオン交換樹脂装置を使用し研削水を改質、CMP後の洗浄工程では、酸洗浄による金属汚染、超音波

洗浄装置導入によるパーティクル低減により、ウエハ品質保証の目途が立った。

#### 1-4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社ナガセインテグレックス 渡辺 一人

所在地：岐阜県関市武芸川町跡部 1 3 3 3 - 1

電話：0575-46-2323 FAX：0575-46-2325

E-mail：kwatanabe@nagase-i.co.jp

## 第2章 本論

### 【1】研削工程技術の開発

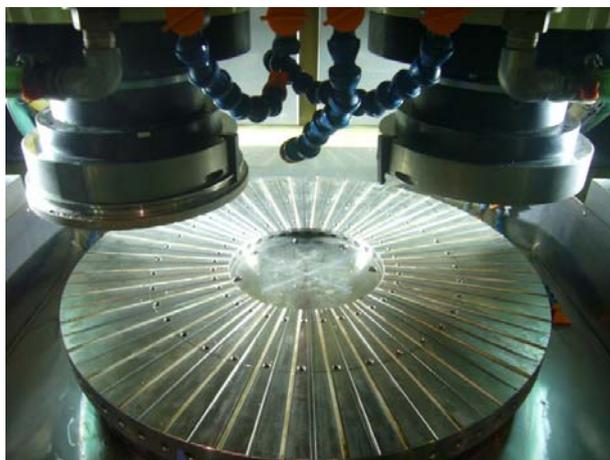
#### 【1-1】粗加工における高加工レートを実現する砥石の開発及び検証に対する成果

アズスライスの SiC ウエハを試作した CFRP 材のウエハ保持具にて保持し、次工程（仕上研削工程）の取り代とダメージ深さ・加工レートに対して、最適な砥石と加工条件を確立する。

#### ■統計的手法による、研削面のシミュレーション技術の開発

東北大学の厨川教授の協力のもと、統計的手法による研削面のシミュレーション技術を平面ホーニング法へ応用し、工作物（ウエハ）および工具（砥石）を有限要素に分割して工作物のある区画が除去される過程を確率的に計算する方法を開発し解析を行った。これまでの解析では一断面に対してのみ計算を行う手法であったため、複数の砥石が同時に工作物に対して作用する状況を模擬することができず、加工力のバランスや除去量を考えることができなかった。本手法では砥粒のバラツキを考慮した工作物全体でのスクラッチパターンの発生やその除去過程について解析することができる。これにより砥石の効果を検証することが可能となった。

下図に粗加工用砥石の配列を示す。これは東北大学厨川教授の指導の下、スティック砥石を放射線状に配列した物で、加工時の動圧効果の低減と切り屑除去に配慮した構造になっている。



砥石配列

砥石回転数をワーク回転数の違いによる砥粒1個のワークへの軌跡を検証した結果を下図示す。これは砥石側にフェルトペンと固定し、ワーク軸面板に直接軌跡を書かせた物である。

砥石軸とワーク軸との回転比を1対1、1対0.5、1対3の3種類で検証した。その結果を踏まえて加工実験を行った結果、面粗度が最も小さくなった回転比は1対3で有った。

この条件を基本とし、粗加工及び仕上げ加工の条件設定を行う事とした。

砥石軸とワーク軸の回転数比 (1:0.5) の場合

砥石軸とワーク軸の回転数比 (1:3) の場合



フェルトペンによる10回転分の描画軌跡

フェルトペンによる20回転分の描画軌跡

砥石軸とワーク軸の回転数比 (1:1) の場合

■ 砥石摩耗量検証

技術的な改善として砥石回転数とワーク軸及びドレス軸の回転数の関係とドレッサー種類（粒度・結合度）の変更で高加工レートでありながら、砥石摩耗を抑える結果となった。

ウエハNo. 加工面:Si	設定 加工量 ( $\mu\text{m}$ )	ワーク 加工量 ( $\mu\text{m}$ )	加工時間 (min)	加工レート ( $\mu\text{m}/\text{min}$ )	加工レート ( $\mu\text{m}^2/\text{sec}$ )	研削比 (%)	砥石摩耗量 ( $\mu\text{m}$ )
1	75	55.9	1.4	39.9	0.67	74.53	3
2	75	55	1.4	39.3	0.65	73.33	5
3	75	59.2	1.5	39.5	0.66	78.93	5
4	75	61.8	1.4	44.1	0.74	82.40	5
5	75	55	1.4	39.3	0.65	73.33	5
6	75	56.4	1.4	40.3	0.67	75.20	5
7	75	55.8	1.4	39.9	0.66	74.40	5
8	75	56.7	1.4	40.5	0.68	75.60	5
9	75	58	1.4	41.4	0.69	77.33	4
10	75	57.3	1.4	40.9	0.68	76.40	5
11	75	60.8	1.4	43.4	0.72	81.07	3
12	75	55.7	1.3	42.8	0.71	74.27	5
13	75	54.9	1.4	39.2	0.65	73.20	4
14	75	56.2	1.4	40.1	0.67	74.93	5
15	75	56.5	1.4	40.4	0.67	75.33	4
16	75	59.7	1.5	39.8	0.66	79.60	4
17	75	56.5	1.4	40.4	0.67	75.33	4
18	75	55.3	1.4	39.5	0.66	73.73	4
19	75	54.7	1.5	36.5	0.61	72.93	5
平均		56.9		40.4	0.67	75.89	4.5

SiC ウエハ 4 インチ 1 枚加工時の研削比、摩耗量

★目標達成について：

砥石摩耗量について、目標の $9\mu\text{m}$ に対し、19水準で平均 $4.5\mu\text{m}$ となり達成ができた。

\*粗用砥石の砥石コストについて：

SiC ウエハ 4 インチ 1 枚加工時の研削比、摩耗量よりウエハ 1 枚の加工単価を算出した。平均して砥石摩耗量は $4.5\mu\text{m}$ であり砥石購入金額から砥石消耗費として¥650/枚となった。

4 インチ 3 枚同時加工時の砥石消耗費を 1 枚加工時と同様に算出した。その結果、1 枚当たりの単価は¥1080/枚となり、1 枚加工時よりも単価が上がる結果となった。これは量産加工を今後実施する上で 1 バッチの枚数が増えると単価が上がる事になり、当初砥石摩耗量に対する目標は達成しているものの、今後についても検討を継続する必要性が有る事が解った。粗用砥石のみではなく、全体の工程でコスト低減ができるよう、検討を進めていく予定である。

【1-2】 SD30000 仕上げ加工における内部ダメージレスを実現する砥石の開発及び検証に対する成果

検証として、■加工レートと砥石摩耗の関係、■仕上げ用砥石の表面粗さの確認、■ウエハ表面の研削痕・キズの検証、■仕上げ加工後のウエハ内部応力（SSD）の評価を行った。

■加工レートと砥石摩耗の関係の検証

下図において、SiC4 インチウエハ 1 枚加工時の加工レート、砥石摩耗について検証をおこなった。11 水準行って加工レートは平均 $0.24\mu\text{m}/\text{min}$ 、砥石摩耗量は $7.73\mu\text{m}$ であった。取り代の設定値として $10\sim 20\mu\text{m}$ とした。これは目標値でもある砥石摩耗量( $9\mu\text{m}$ )を仕上げ加工用砥石についてもクリアしている事が解る。

ウエハNo. 加工面	搬定 加工量 ( $\mu\text{m}^2$ )	ワーク 加工量 ( $\mu\text{m}^2$ )	加工時間 (min)	加工レート ( $\mu\text{m}/\text{min}$ )	研削率 (%)	研削率 ワーク加工体 積(mm <sup>3</sup> ・砥石磨 耗体積mm <sup>3</sup> )	砥石磨耗量 ( $\mu\text{m}$ )
1	10	0.6	4	0.150	6%	0.05451349	4
2	10	0.8	4	0.200	6%	0.05914915	5
3	10	0.6	4	0.150	6%	0.05451349	4
4	20	1.5	5.2	0.288	6%	0.06357399	9
5	20	1.8	5	0.360	6%	0.10902778	9
6	20	1.5	5.5	0.273	6%	0.06357399	9
7	20	1.7	6.2	0.274	6%	0.05816582	11
8	20	1.2	6.1	0.197	6%	0.04945679	9
9	20	1.8	5	0.360	6%	0.08177383	8
10	20	1.5	6.5	0.231	6%	0.05461349	10
11	20	0.9	5.3	0.170	6%	0.03270933	10
平均				0.24		0.08	7.73

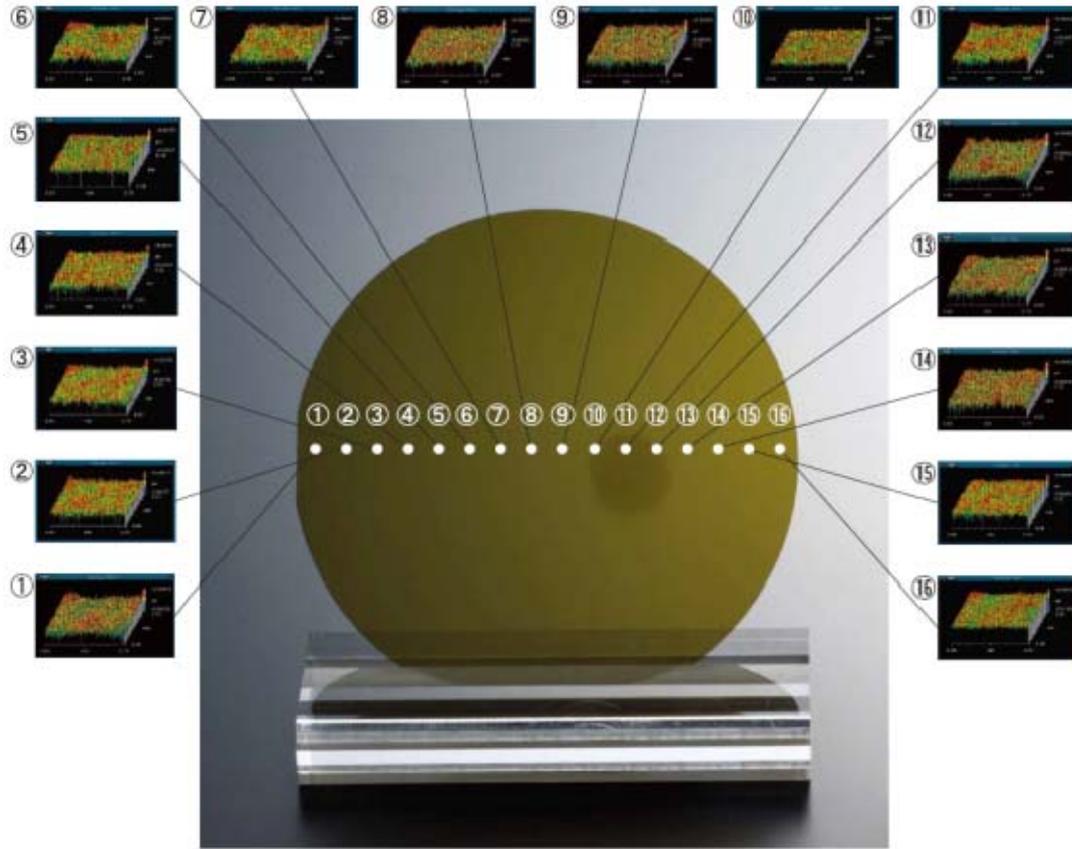
SD30000 での SiC ウエハ加工結果

■SD30000 仕上げ用砥石の表面粗さの検証

ZYGO (NewView8000 三次元光学プロファイラー) にて測定した結果、Ra0.9nm であった。



その測定器の測定エリアは  $0.7 \times 0.6\text{mm}$  なのでウエハ全体を評価することが出来ない。  
 その為ウエハ面内分布の状況を調べる意味でウエハ中央部の1ライン 16点測定を実施した。その結果 Ra0.795nm、最大値のバラツキが 0.168nm と非常に安定した面が得られている事が解った。下図に示す。



SD30000 加工後の面粗度測定結果（16点測定）

**各点の面粗度(nmRa)**

$\bar{x}=0.795, R=0.168$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
NSF-600	0.831	0.724	0.718	0.746	0.816	0.824	0.838	0.869	0.85	0.816	0.829	0.853	0.76	0.820	0.701	0.727

SD30000 加工後の面粗度測定結果（16点測定）

## ■ウエハ表面の研削痕・キズの検証

面粗度の数値として Ra1nm 以下が得られているが、目視レベル或いは特殊ライトで表面を観察すると僅かではあるが、研削痕・或いはキズが確認できる。研削痕・キズが入る原因として下記仮説を立てて検証を進めた。

- 1：研削中のコンタミの影響（研削液中のゴミの噛み込み）
- 2：研削中の砥粒の脱落による噛み込み

対策として

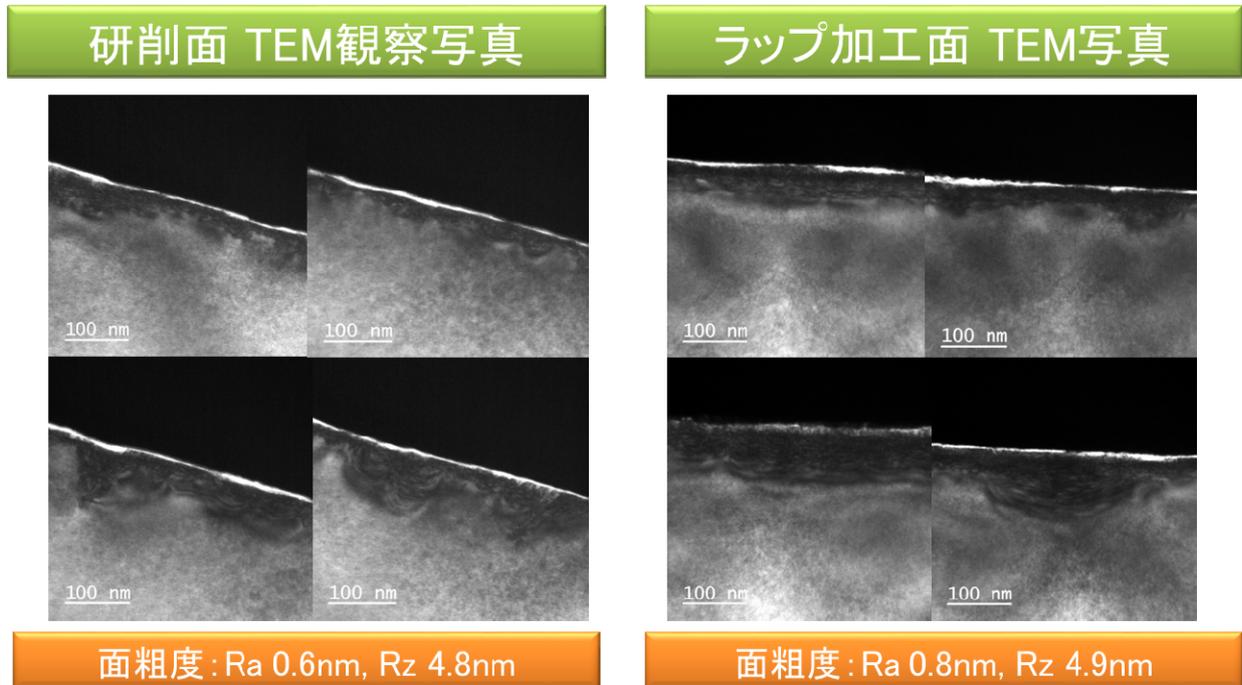
- 1：研削液の入替とフィルターシステムの見直し  
→研削盤に付属のクーラントユニットのフィルターシステムは最終段でカートリッジ式フィルターを採用しており現在 0.5 $\mu$ m のメッシュサイズを使用している。
- 2：研削条件の変更と砥石スペック（結合材及び結合度）の見直し

結果について

- 1：変化は見られず、効果少ないと判断
- 2：砥石スペックとしてメーカーと協議し、結合材を変更する方向で実験を行った。この結合材の変更の作用としては砥粒の結合度があがる方向で作用する。加工結果とし研削痕・キズの抑制には作用しなかったが、研削時の砥石摩耗量は数パーセント改善する方向で働いた。



参考に下図に研削加工 (SD30000) とラップ加工 ( $1/2\mu\text{m}$  ダイヤモンドスラリー) のダメージ層のデータを示す。表面の面粗さは両者とも同等レベルであり、且つ内部応力の量も最大 125nm 前後で有る事が解る。このことは本事業にて進めている固定砥粒を使用した研削工程はラップ工程と置き換える事が可能である事を示している。



研削とラップの SSD の比較

★目標達成について :

SD30000 仕加工後の SSD (サブサーフェスダメージ層) について、平均 50nm と達成している

\* 技術的な目標値はクリアしており、SSD を完全に除去する手法としては、次工程の CMP 工程で行うことにした。今後について、各工程のコストダウンは必須であり引き続き検証をおこなっていく予定である。

【1-3】研削工程における CFRP 材のウエハ保持具の開発に対する成果

研削加工に最適な CFRP 材の選定と研削加工用治具の試作をおこなった。試作の際には、ナガセインテグレックスの既存機である NSF-600 を使用して研削加工を施し、治具平行出し・平面出しをおこない技術的目標値は達成している。

## 【2】CMP 工程技術の開発に対する成果

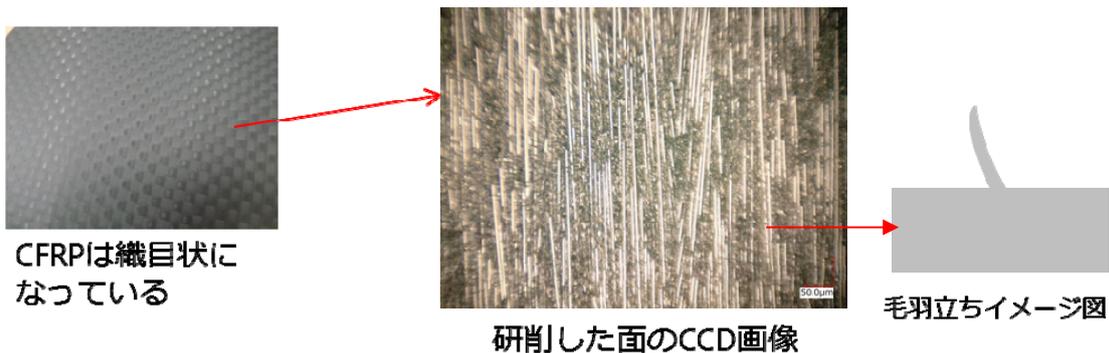
### ■CFRP 材のウエハ保持治具を使用した高加工レート条件の検証

CMP 工程において、有限会社サクセスが考案した CFRP 材のウエハ保持治具を試作し、従来のウエハ保持方法である WAX 貼り付けた場合と比較検証をおこなった。

結果として、

- ・ WAX 接着の場合、CMP 工程開始 10 分で WAX が溶解し、ウエハの飛び出し、ウエハが破損した。
- ・ WAX 接着では、高圧力負荷に耐えられないことを確認した
- ・ CFRP 材のウエハ保持治具では、ウエハの飛び出しはなく、保持力が確認された

CMP 工程のウエハ保持について、WAX 貼り付けより有利であることがわかった。新たに課題として、CFRP 素材のガイド・スペーサを寸法合わせのため研削を行うと「毛羽立ち」が発生しており、研磨工程においてカーボン繊維が影響してウエハ表面に傷を発生させていることが判った。(下図)

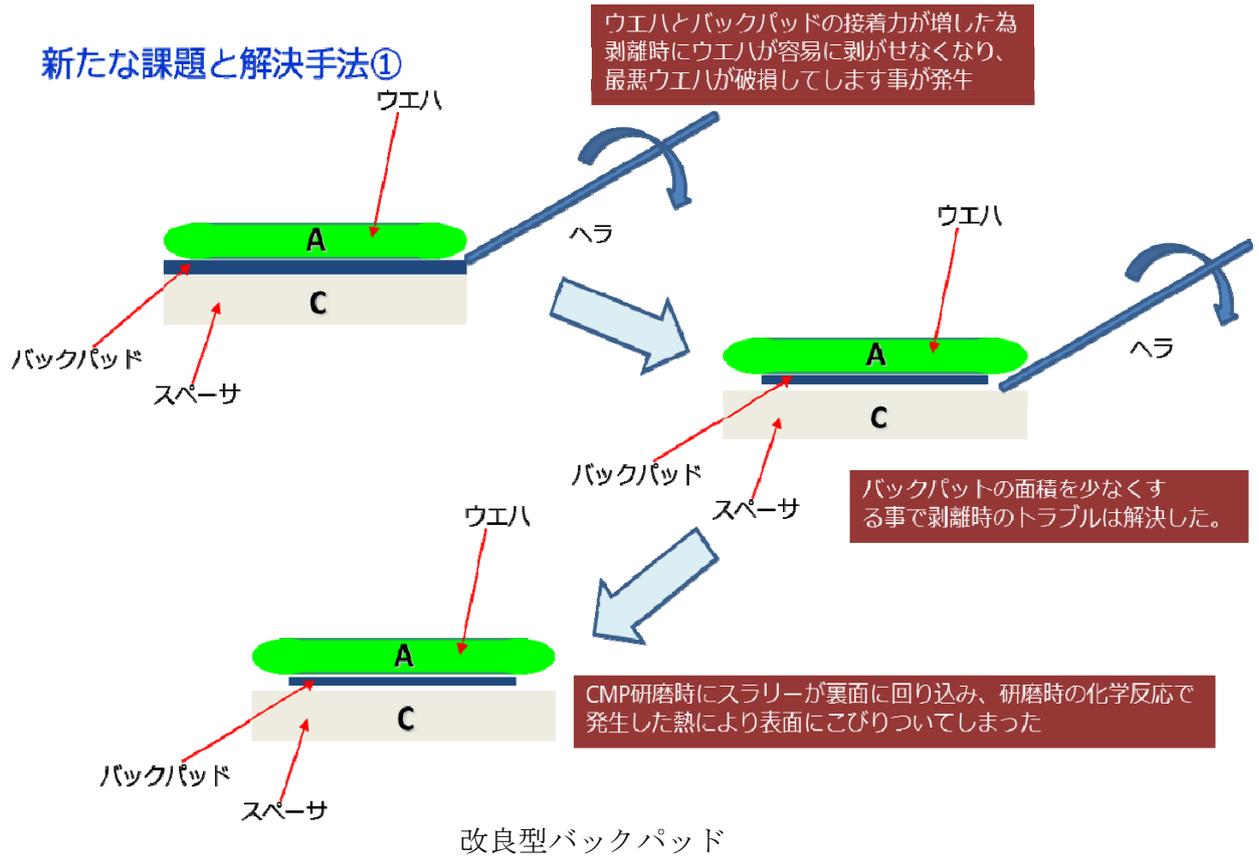


対策として、CFRP の素材（繊維の編み込み方法）を変える事で解消した。しかし、CMP 加工途中でウエハとガイド端面との接触から発生する毛羽立ちは、カーボン材を接着させる時に使用する接着剤を端面に塗布して対応するパターンとバックパットの材質を変えて加工抵抗でウエハが動かない様により吸着力の高いパットを洗濯する 2つの手法で対応した。

この方法で CFRP 保持ジグでのキズの発生は抑えられたが、バックパットの素材を変えた事による弊害が発生した。より強固に吸着されているため、加工後取り外す時にウエハを破損してしまう事故が多発した。

そこで改良型バックパッドとして次頁に示す様にウエハ外径より若干小さいサイズでバックパッドを置き、ヘラでこの原理を利用してウエハを外す工夫をした。

### 新たな課題と解決手法①



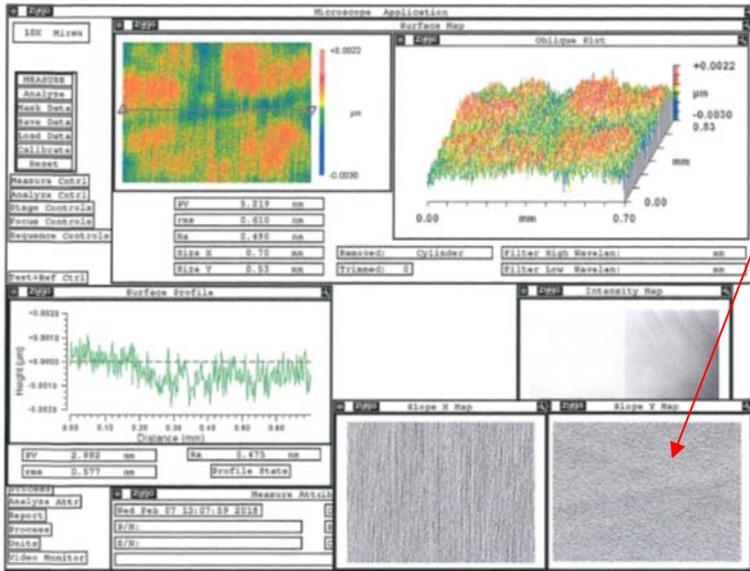
上記内容のウエハ保持治具、バックパッド材の改善をおこない、また研磨時のスラリーに添加物として過酸化水素水を付加する事で、ケミカルリアクションが発生し平均  $0.33 \mu\text{m/hr}$  という高レートを得る事が出来、技術的目標値は達成できた。

CMP 工程における研磨レートの結果

単位:  $\mu\text{m/hr}$

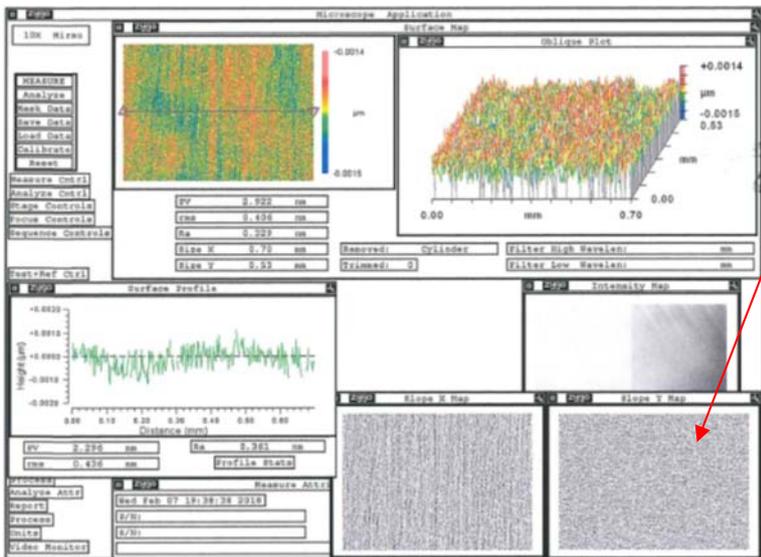
時間	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1時間	0.40	0.42	0.41	0.41	0.40	0.41	0.40	0.42	0.41
2時間	0.26	0.24	0.28	0.27	0.27	0.26	0.25	0.26	0.24

加工レートとして研磨開始から1時間で平均  $0.41 \mu\text{m}$ 、更に1時間後の除去量として、 $0.26 \mu\text{m}$ であることがわかり、CMP 研磨開始後2時間でほぼ研削痕は無くなり研磨品になっている事がわかった。



CMP 1 時間後表面

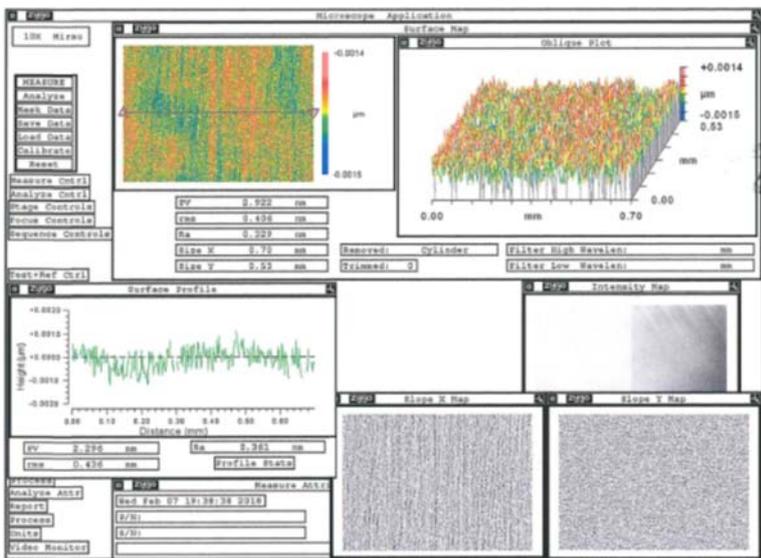
研磨が進み、グラインド痕が薄くなってきている



CMP2 時間後表面

研磨が進み、グラインド痕も研磨されている。

ほぼ研磨到達面と思われる



CMP3 時間後表面

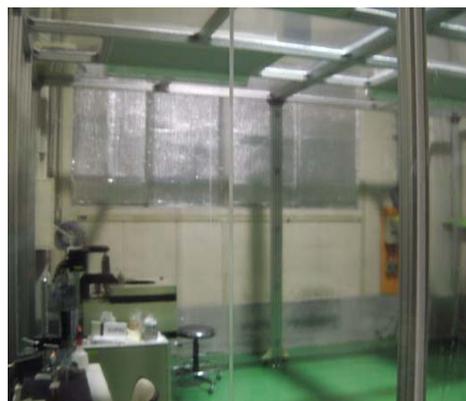
Ra も 2 時間後とほとんど変化なく、除去ができている

### 【3】 ウエハの品質保証の確立

本研究開発を事業化するにあたって、販売先向けにウエハの品質保証をすることが必須である。そこで、出荷までのラインの構築のために必要なクリーンブース（可動式）及び精密加工ブース（可動式）を選定・導入した。

#### ■設備の導入

最終的な出荷を見据えたウエハ品質保証のため、クリーンブース（可動式）及び精密加工ブース（可動式）を導入した。



クリーンブース（可動式）

#### ●クリーンブース（可動式）内の清浄度の測定

クリーンブース（可動式）では、導入時に定点 4 か所で測定し、クリーンルームの ISO/JIS 規格のクラス 6（アメリカ連邦規格：クラス 1000）相当であることを確認した。

使用測定器	MET-ONE 製：237B(A)（吸引量：2.83L/min）
測定対象	室内清浄度
対象粒径	0.5 μm
測定方法	手順 1 4 か所を測定定点とする（合計 4 点）
	手順 2 測定点高さ 1000mm（FL+高さ）とする
	手順 3 測定点に測定用プローブを固定し 1 分間サンプリング、3 回測定をする
	手順 4 清浄度は各測定値を評価する （実測データが ft <sup>3</sup> で測定されるため、各値 m <sup>3</sup> 換算（1m <sup>3</sup> =35.3ft <sup>3</sup> ）

#### クリーンブース内測定結果

	目標清浄度	測定結果（個/m <sup>3</sup> ）		判定基準	判定
		0.3 μm	0.5 μm		
定点①	クラス 6 (C-1,000) at 0.5 μm	2577	106	at 0.5 μm 35200（個/m <sup>3</sup> 以下）	OK
定点②		1059	106		OK
定点③		812	106		OK
定点④		3177	247		OK

●精密加工ブース（可動式）内の清浄度の測定

精密加工ブース(可動式)において、検証加工前に測定を行ったところクリーンルームの ISO/JIS 規格のクラス 6（アメリカ連邦規格：クラス 1000）相当であることを確認した。



精密加工ブース（可動式）

しかし、クリーンブース（可動式）と異なり、ブース内で研削加工及び CMP 加工を実施するため、研削液やスラリー等の影響で清浄度が加工を実施していない時間と加工を実施している時間で異なる可能性がある。

ブース内のパーティクルや埃等がウエハ品質に影響を与えるため今後も継続的に測定し、必要に応じて加工実施時間の清浄度を向上させる対策を行う。

	目標清浄度	測定結果（個/m <sup>3</sup> ）		判定基準	判定
		0.3 μ m	0.5 μ m		
1 回目	クラス 6 (C-1,000) at 0.5 μ m	62580	15775	at 0.5 μ m 35200（個/m <sup>3</sup> 以下）	OK
2 回目		57674	12865		OK

■金属汚染対策

洗浄工程に於いて研磨スラリーがウエハに付着して、それが通常のSC-1洗浄で除去出来ない事が判明した。そこでスクラブ洗浄機を試作で製作して対応した結果、パーティクル測定器で評価出来るレベルまで改善する事が出来た。但しその後の重金属の検査でウエハが汚染されている事が判明し、金属汚染について対策を進めた。

●グランド工程での対策

- ・グランド研削水をイオン交換樹脂装置を使用し、研削水を改質した。

●CMP 後洗浄工程での対策

1. 酸洗浄による不純物除去
2. 超音波洗浄装置導入による、パーティクル低減

● グラインド工程での対策

イオン交換水分析結果

対策前

No	分析項目	単位	分析結果	基準値	下限値	分析方法
1	ナトリウム(Na)	mg/L	9.2	—	0.5	JIS K 0101 47.2
2	カリウム(K)	mg/L	47	—	0.1	JIS K 0101 48.2
3	カルシウム(Ca)	mg/L	4.9	—	0.1	JIS K 0101 49.2
4	銅(Cu)	mg/L	46	—	0.005	JIS K 0101 51.2
5	亜鉛(Zn)	mg/L	3.7	—	0.001	JIS K 0101 52.1
6	ニッケル(Ni)	mg/L	0.006	—	0.001	JIS K 0101 54.2
7	マンガン(Mn)	mg/L	0.004	—	0.001	JIS K 0101 58.2
8	アルミニウム(Al)	mg/L	2.4	—	0.01	JIS K 0101 59.4
9	鉄(Fe)	mg/L	0.26	—	0.01	JIS K 0101 60.2
10	全クロム	mg/L	0.060	—	0.005	JIS K 0101 61.1
	—以下余白—					

対策後

No	分析項目	単位	分析結果	基準値	下限値	分析方法
1	ナトリウム(Na)	mg/L	0.5 未満	—	0.5	JIS K 0101 47.2
2	カリウム(K)	mg/L	0.1 未満	—	0.1	JIS K 0101 48.2
3	カルシウム(Ca)	mg/L	0.1 未満	—	0.1	JIS K 0101 49.2
4	銅(Cu)	mg/L	0.005 未満	—	0.005	JIS K 0101 51.2
5	亜鉛(Zn)	mg/L	0.003 未満	—	0.001	JIS K 0101 52.1
6	ニッケル(Ni)	mg/L	0.001 未満	—	0.001	JIS K 0101 54.2
7	マンガン(Mn)	mg/L	0.001 未満	—	0.001	JIS K 0101 58.2
8	アルミニウム(Al)	mg/L	0.01 未満	—	0.01	JIS K 0101 59.4
9	鉄(Fe)	mg/L	0.01 未満	—	0.01	JIS K 0101 60.2
10	全クロム	mg/L	0.005 未満	—	0.005	JIS K 0101 61.1
	—以下余白—					

イオン交換樹脂装置を通した場合、重金属汚染物質は、検出限界以下となる結果



超音波洗浄装置イオン交換樹脂ユニット（ウェハ用とグラインド用）

●CMP 後洗浄工程での対策

1. 酸洗浄による不純物除去

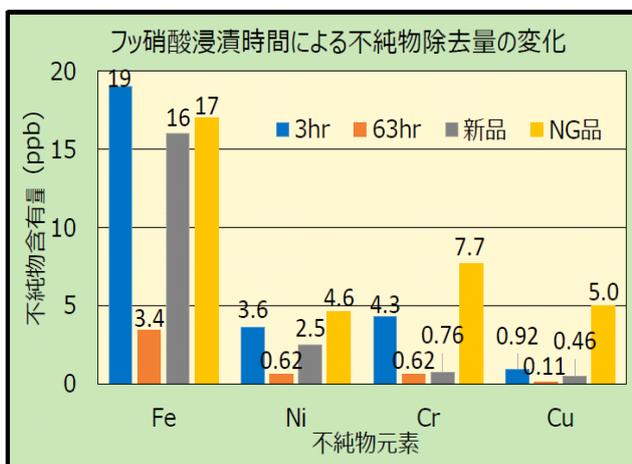
加工中に汚染された CVD-SiC 材を利用し、フッ硝酸長時間浸漬による不純物除去変化量について実験した。

(ppb)

不純物元素	3hr	63hr	新品	NG品
Fe	19	3.4	16	17
Ni	3.6	0.62	2.5	4.6
Cr	4.3	0.62	0.76	7.7
Cu	0.92	0.11	0.46	5.0

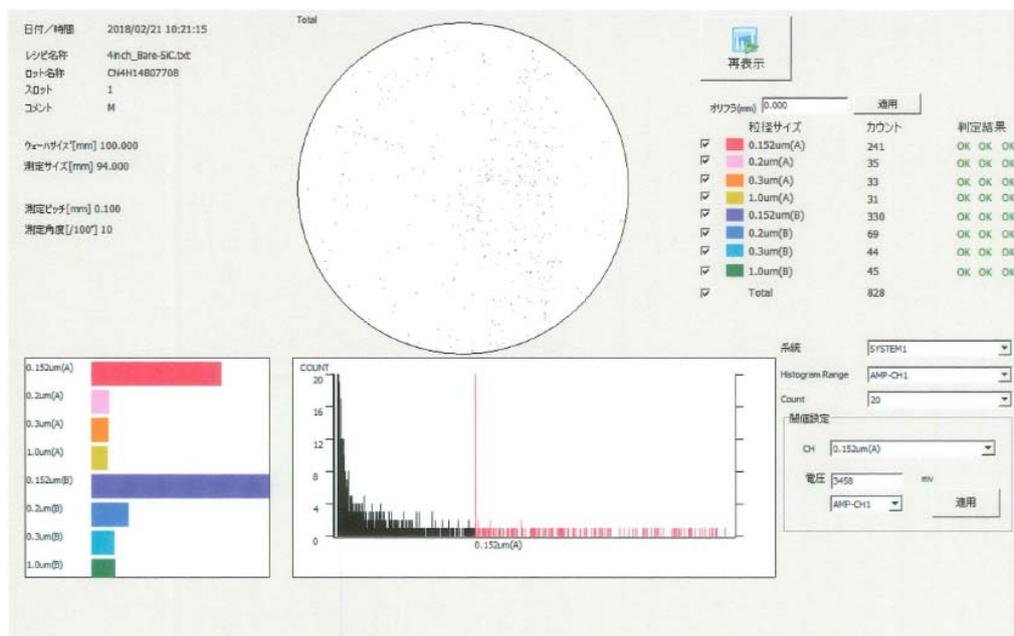
  

不純物元素	3hr	63hr	新品	NG品
Zn	0.41	0.41	30	1.6
Al	0.079	0.74	3.9	5.4
Ti	3.1	0.13	0.36	20
Mn	0.059	0.020	0.16	0.10
Sn	0.005	0.005	0.070	0.70
Co	0.24	0.030	0.030	0.14
W	0.16	0.005	0.025	0.14
Zr	0.085	0.005	0.020	0.65



実験結果より、長時間浸漬することで汚染量が減ることが分かり、ウエハ表面汚染除去の洗浄手法として活用できると考えた。

2. 超音波洗浄装置導入による、パーティクル低減



当初 25 万個レベルが最終 1000 個以下に低減され、洗浄工程の目途が立った。



ウエハ用超音波洗浄ユニット



グラインド工程用粗超音波洗浄ユニット

超音波洗浄装置

■ウエハ精度 (TTV、LTV、SORI)

表 3-(1)-6 に CMP 研磨後のウエハの平坦度(TTV、LTV)、SORI を初年度の購入したウエハ平坦度測定器にて評価した一部を示す。用いた測定機を図 3-(1)-18 測定結果を図 3-(1)-19 に示す。

その結果 TTV、LTV に関して目標値の数値から更に 1/2 以下の値になっている。

TTV 値 目標 5 $\mu\text{m}$  →2.48~2.80 $\mu\text{m}$

LTV 値 目標 2 $\mu\text{m}$  →0.42~0.54  $\mu\text{m}$

SORI 目標 25 $\mu\text{m}$  →7.07~11.87 $\mu\text{m}$

表 3-(1)-7 に他社とのウエハ変質比較表を示す。今回の結果は現状各社がデバイスメーカーに供給しているウエハ品質に対して約 1/4~1/5 で有る事がわかり、今後の事業展開に優位性がもてる結果となっている。

項目	目標値	①加工前数値 受入数値	①加工数値 CMP後	②加工前数値 受入数値	②加工数値 Cmp後
ウエハ-TTV (GBIR)	5 $\mu\text{m}$	4.977 $\mu\text{m}$	2.796 $\mu\text{m}$	2.126 $\mu\text{m}$	2.482 $\mu\text{m}$
ウエハ-LTV (SBIR)	2 $\mu\text{m}$	3.581 $\mu\text{m}$	0.420 $\mu\text{m}$	1.581 $\mu\text{m}$	0.5391 $\mu\text{m}$
ウエハ-反り	25 $\mu\text{m}$	4.985 $\mu\text{m}$	7.072 $\mu\text{m}$	9.058 $\mu\text{m}$	11.87 $\mu\text{m}$
ウエハ-厚み		367.353 $\mu\text{m}$	349.099 $\mu\text{m}$	367.374 $\mu\text{m}$	349.858 $\mu\text{m}$

ウエハ精度の測定結果

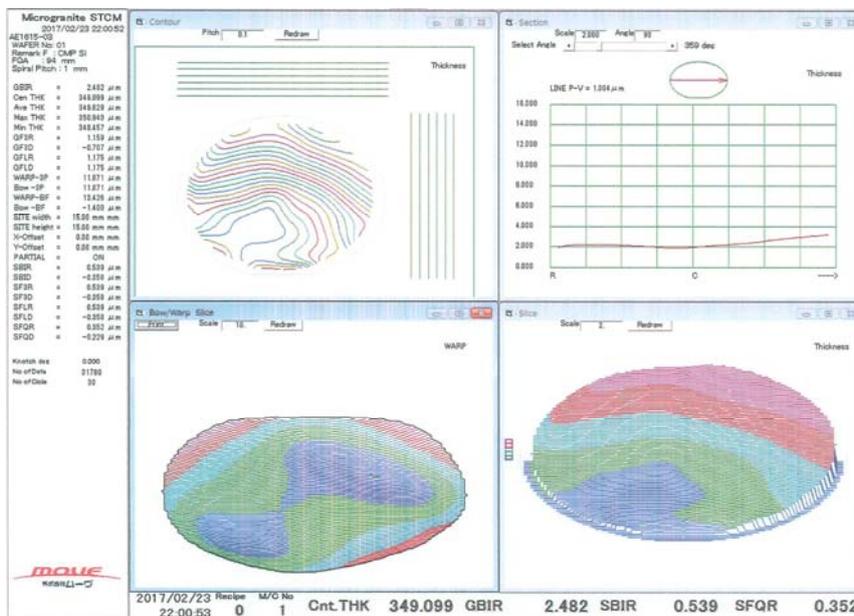
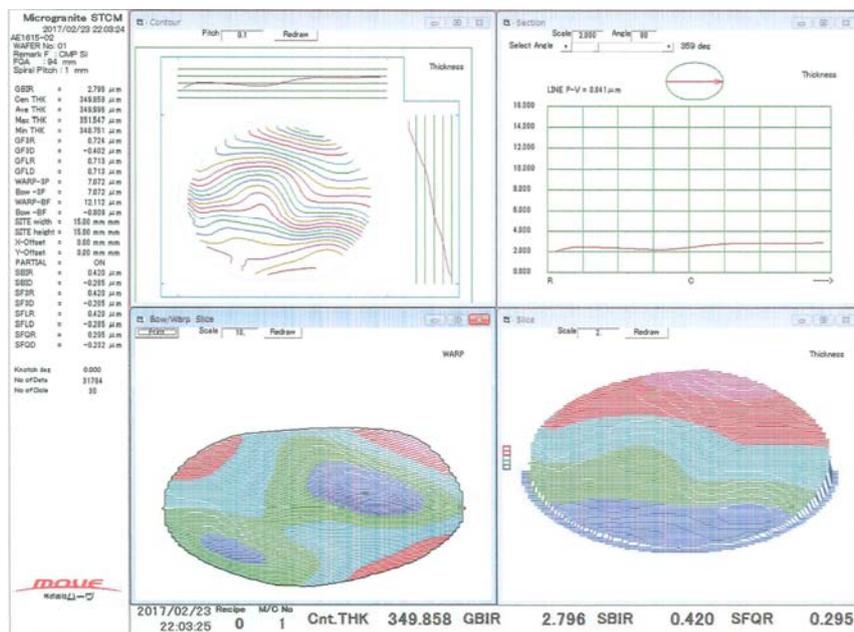


検査方法：非破壊検査法

原理：半導体レーザースキャニング方式

ワークサイズ：3~6インチ対応

平坦度測定器外観と主な仕様



### 第3章 全体総括

#### 【1】研究開発成果総括

本事業は、産学連携の元で開発された定量・定圧超精密複合研削加工技をさらに発展させ、専用の高番手パターン砥石、並びに高負荷加工対応CFRP保持治具を新たに開発し、今後需要が急増するSiC/GaNウエハの高エネルギー・高品位平面研削加工、並びに最終研磨加工に適用する。そして大口径ウエハの高品質、低コスト量産化加工工程の確立に取り組むものである。大きく3つに解決すべき課題【1】研削工程技術の開発、【2】CMP工程技術の開発、【3】ウエハ品質保証の確立に分類し課題解決に取り組んだ。

以下に本事業における成果を表記する。

1. 統計的手法による、研削面のシミュレーション技術の開発に於いて、砥粒のバラツキを考慮した工作物全体でのスクラッチパターンの発生やその除去過程について解析することができる。これにより砥石の効果を検証することが可能となった。
2. 粗加工における高加工レートを実現する砥石の開発及び検証に於いて、目標値である砥石摩耗量が $4.5\mu\text{m}$ （目標値 $9\mu\text{m}$ ）を達成した。砥石コストについては、継続して取り組みを進める予定である。
3. 仕上加工における内部ダメージレスを実現する砥石の開発・検証に於いて、ダメージレスを達成するため#30000と言うハイメッシュな砥石を採用し、SSD（サブサーフェスダメージ層）を平均 $50\text{nm}$ が達成可能な、砥石（ボンド・集中度等）の開発と加工条件の確立を立証した。
4. 研削工程におけるCFRP材のウエハ保持治具の開発に於いて、治具平行度 $2\mu\text{m}$ 以下、治具平面度 $2\mu\text{m}$ 以下と目標値を達成する事が出来、安定した品質の確保が確認できた。
5. CMP工程技術の開発に於いて、CFRP材のウエハ保持治具を使用した高加工レートを実現できた。
6. ウエハの品質保証の確立に於いて、ウエハ精度(TTV, LTV, SORI)に関して目標値を達成することができた。
7. ウエハの品質保証の確立に於いて、金属汚染、パーティクルについて低減できる手法が確認できた。引き続き検証を進めシステム構築を図る。

## 【2】 研究開発後の課題・事業化展開

テーマとして技術的目標値は達成することができた。しかし、今後量産化、事業化するにあたって、砥石コストについて課題がでた。この課題に取り組むべく引き続き砥石メーカ、厨川教授の助言を頂きながら、研究開発を進めていく予定である。

3年を通じてウエハ製造工程で提唱したラップレスを実証できるデータを取得する事が出来・また確信を得る事が出来た。事業化に向け更に提唱する工程が他社と比べ競争力を得るため、今後についても必要に応じ、実験・検証を進める予定である。

当該製品のテスト加工において、他社に類を見ない高品位・高能率加工の結果を得、良好な反応を示すユーザも多い。サンプル出展を行い市場ニーズの確認を行った所、SiC ウエハの再生について数社から話を伺い市場ニーズを再度認識した。こうしたユーザをターゲットに対し、サンプル作成の依頼受け今後、量産化、事業化を進めていく。

また、ナガセインテグレーションが年数回出展している展示会等にも参考出品をおこない、川下企業のニーズも調査しながら事業化を進めていく。