

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

「半導体の低価格化に貢献する、多結晶炭化ケイ素(SiC)の研磨の高度
化・高速化・大口径化技術確立と装置開発」

研究開発成果等報告書

平成 30 年 5 月

担当局 東北経済産業局
補助事業者 公益財団法人みやぎ産業振興機構

目次

第1章 研究開発の概要	・・・・・・・・P.1
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	・・・・・・・・P.1
1-2 研究体制	・・・・・・・・P.8
1-3 成果概要	・・・・・・・・P.9
1-4 当該研究開発の連絡窓口	・・・・・・・・P.10
第2章 本論	・・・・・・・・P.11
【1】主にラッピング手法を用いた接触条件の定量化と最適化	・・・・・・・・P.11
【1-1】面粗さ向上のための（粗研磨～中仕上げ工程での）取り組み	・・・・P.11
【1-2】平面度・TTV 向上のための取り組み	・・・・・・・・P.13
【2】主に CMP を用いた接触条件の定量化と最適化	・・・・・・・・P.14
【2-1】ティ・ディ・シーでの面粗さ向上のための取り組み	・・・・・・・・P.14
【2-2】東北大学での面粗さ向上のための取り組み	・・・・・・・・P.15
【3】研磨装置全体の管理パラメータの最適化と装置開発	・・・・・・・・P.17
【3-1】研磨装置全体の管理パラメータの最適化と装置開発	・・・・・・・・P.17
【4】品質評価	・・・・・・・・P.17
【4-1】AFM での表面状態観察（東北大・産総研）	・・・・・・・・P.17
【4-2】AFM での表面状態観察（ティ・ディ・シー）	・・・・・・・・P.18
第3章 全体総括	・・・・・・・・P.20

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

□研究開発の概要

＜目的＞✓ラップ・ポリッシング技術の高度化による革新的研磨手法の確立

✓次世代パワー半導体振興への貢献

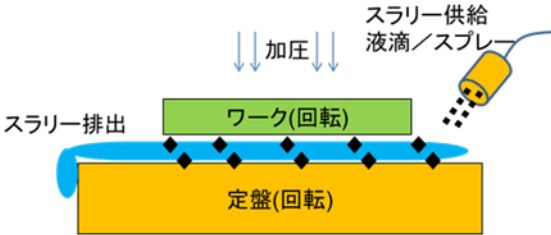
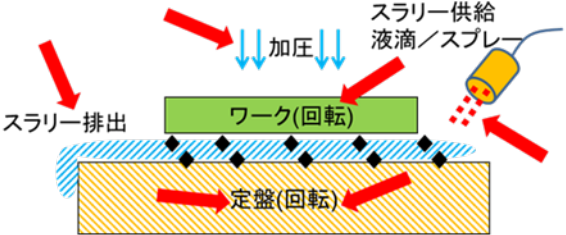
✓東北大学のナノ界面制御に関する知見を活用して、精密研磨を高度化する枠組みの構築

築

＜目標＞SiC パワー半導体で使用される単結晶 SiC 基板を表層の単結晶部分と支持基板となる多結晶 SiC 基板を貼りあわせることでデバイスの低コスト化を実現する。

＜方法＞TDC 独自の研磨ノウハウ・開発プロセスと東北大学の知見・解析技術との融合による、研磨技術開発、研磨装置開発

＜図1 従来技術と新技術＞

従来の研磨技術	新技術・新装置
ラッピング・ポリッシング装置と市販の研磨剤・研磨定盤の組み合わせをTDC自社独自で行い、熟練した技術者の創意工夫で高度な研磨技術確立に取り組んでいる ＜従来研磨の概念図＞  課題 ①研磨には複雑な諸条件を微調整することで最適解が得られるが、実験によって導き出すには膨大な時間を要する ＜研磨条件出しの要件＞ ✓定盤材質(硬さ) ✓研磨剤材質 ✓加圧 ✓回転数 ✓砥粒粒径・粒度分布 ✓スラリー(潤滑液の粘度) ✓スラリー供給量・排出の制御 ✓定盤溝加工によるスラリー流れ制御 ②多結晶SiCへのRa0.3nm以下の実現という大きなハードルを越えるためには様々な実験・試作が必要→長時間を要する (SiCは砥石として使用されているように硬度が高く研磨しにくい。更に多結晶SiCはSi結晶C結晶が混在し硬度の違いから面粗さが出しにくい)	TDCの知見に加え、東北大学の解析技術を活用し、ナノ界面の物理的・化学的研磨現象を解析し効率的な研磨条件を導く ＜効率的最適化(矢印部の条件変更)＞  【プロセスの最適化】 荒研磨～中仕上げでは、加工ストレスの小さいラッピング技術で基板の反り最小にとどめつつ、ナノレベルの面粗さを実現する。 仕上げプロセスでは、CMP技術によりサブナノレベルの面粗さを実現する 【東北大との共同開発】 表面力測定をはじめとするナノ計測を活用し、接触面の実効面圧、ワークと砥粒との相互作用、研磨定盤とワークとの相互作用、研磨界面での閉じ込め液体の実効粘度などを評価し、①加圧②研磨砥粒③定盤材質④研磨液などに関して加工の最適条件を導く。 加工パラメータの数値化→ナノ解析→加工実験→実験結果をフィードバックしたデータを解析、の工程を繰り返し、加工プロセスを確立する 【装置開発】 ・加工パラメータの微調節が可能な装置し、大面積化・量産への対応を可能とする。 ＜到達目標＞ ✓Ra0.3nm以下の実現 ✓効率化による低価格化 ✓量産対応の実現

□新技術を実現するために解決すべき研究課題

(三)精密加工に係る技術に関する事項

1、精密加工に係る技術において達成すべき高度化目標

(3) 川下分野横断的な共通事項

①川下製造業者等の共通の課題及びニーズ

ア) 高機能化・精密化・軽量化

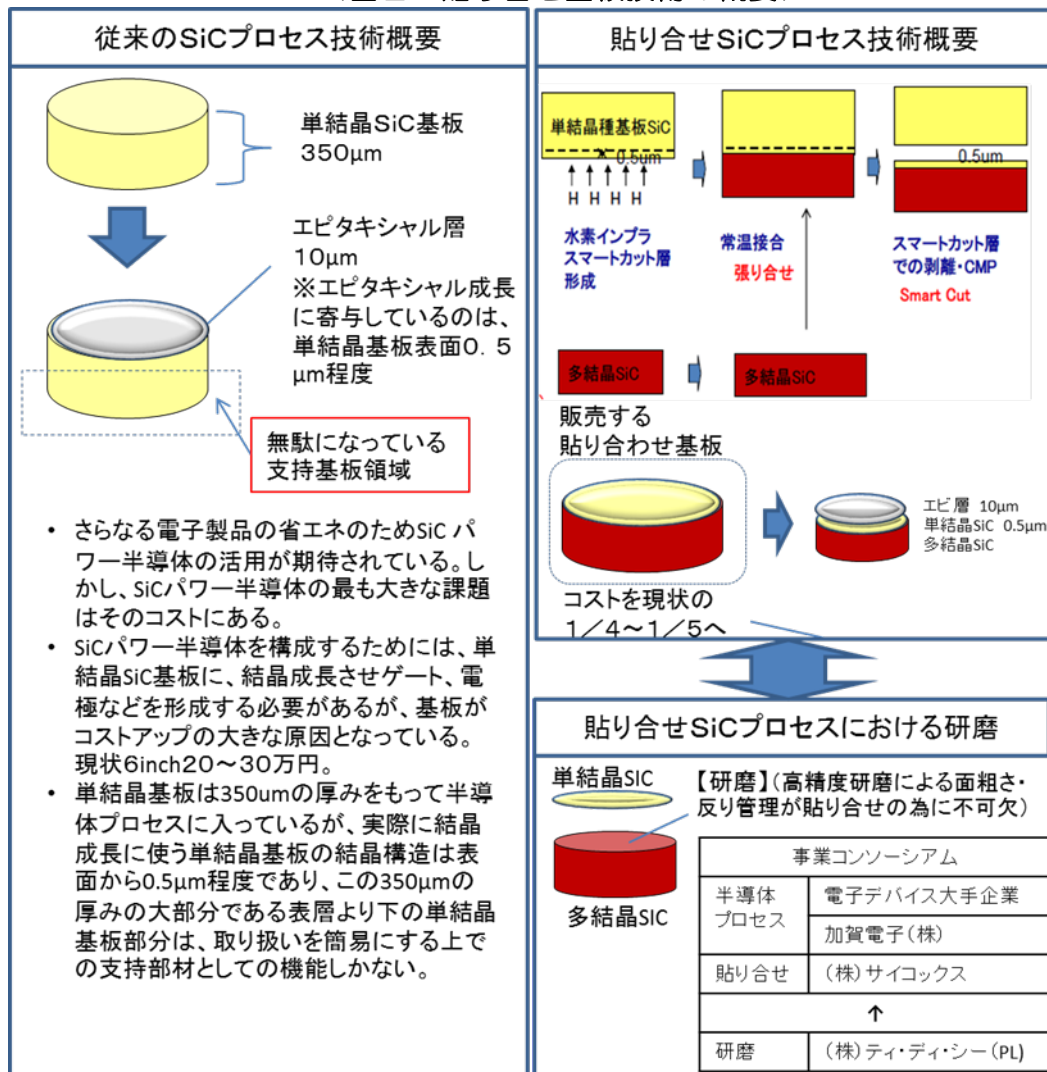
低価格 SiC 基板製作においては、図2に示す貼り合わせプロセスが有効であり、多結晶 SiC をシリコンや単結晶 SiC 同等の面粗さにする精密化が求められている。

多結晶 SiC は材料としては低価格ながら、研磨面状態が粗く、Si、単結晶 SiC の代替デバイス材料としての貼り合せ素材の条件を満たさない。Ra0.3nm 以下、高品質用途としては Ra0.1nm 以下の面粗さが求められている。

カ) 生産性・効率化の向上、低コスト化

多結晶 SiC は、硬く、研磨に多大な時間を要する。研磨プロセスの革新で時間を短縮することはコスト削減につながる。また、現在3～4インチ基板が出回っているが、シリコンなど従来の半導体プロセスとしては6インチ以上が主流であることから、近い将来のニーズとして効率的な生産性を検討する際、SiC 基板サイズは6～8インチ対応とするのが適当である。現在、4インチでのテストにおいても非常に長時間を要しているが、6インチ、8インチ対応技術とするには、加工時間の短縮に加えて面粗さ・キズ対策、また基板の破損を防止するための反り・歪み対策などの課題が挙げられる。

＜図2 貼り合せ基板技術の概要＞



□研究開発の背景

・SiCパワー半導体をコスト低減のためには、今回の研磨技術の確立が必須

従来の Si を使ったパワー半導体は、Si の物性で決まる理論的な性能限界に近づいている。飛躍的な性能向上を期待することが困難になってきた。そこで SiC、GaN、ダイヤモンドなどの材料を使った次世代型パワー半導体に注目が集まるようになっており、各電子デバイスメーカーでの開発競争が活発化、近年ではエアコンなどにも SiC パワー半導体の実装されはじめている。

残る問題はウエハ価格が Si の数十倍と高価であること。現在は米 Cree, Inc.が SiC ウエハ供給をほぼ独占しており、低価格化のメドは立っていない。HOYA や新日鉄マテリアルズなどが SiC ウエハの供給を始めたところであり、ロームも自社開発に成功したようである。今後の低価格化に期待が集まっている。

また低価格化の取り組みとして、今、業界が注目しているのが、「SiC貼り合わせ基板技術」である。

その貼り合わせを安価で実行するためには、基板表面をナノレベルで研磨する必要がある。精密な研磨後、接合プロセスに移行する必要がある。今回の開発は、このような背景から成り立っている。

・今回の研磨技術は、どこに使う技術なのか？なぜ、研磨が必要なのか？

SiC パワー半導体を構成するためには、単結晶 SiC 基板に、結晶成長させゲート、電極などを形成する必要があるが、単結晶基板がコストアップの大きな原因となっている。現状 6inch 20～30 万円となっている。単結晶基板は高価な部材であり、現在、単結晶基板として 350 μ m の厚みをもって半導体プロセスに利用されている。

しかしながら、実際に半導体デバイスとして機能させるための表面のエピタキシャル結晶成長において結晶成長に必要となるのは単結晶基板の表面から 0.5 μ m 程度の単結晶層であり、350 μ m の厚みの大部分である表層より下の単結晶基板部分は、取り扱いを簡易にする上での支持部材としての機能でしかない。

業界から注目を浴びているのは、SiC パワー半導体で使用する単結晶 SiC 基板の表層だけを活用し、支持基板となる安価な多結晶 SiC 基板を貼り合わせ、多結晶を支持基板とすることで基板の低コスト化が可能となり、かつ、半導体プロセスのオペレーションも従来と変わらない工程を実現できるためである。この「貼り合わせ」を低コストで、簡便に実行するためには基板表面をナノレベルで平滑化するという要求事項がある。低コストで貼り合わせするために、申請者（TDC）のオンリーワンの研磨技術をさらに高度化し、基板表面を Ra0.3nm 以下に研磨する必要がある。

・PL企業（株式会社ティ・ディ・シー）はどんな企業か？

当社は 1953 年に創業し、その後産業界の構造変化・顧客ニーズを踏まえ、1998 年頃より従来から金型製作で培われた切削・研削・研磨技術を「超精密」の領域に昇華させてきた。60 年を超えるものづくり企業としての豊富な経験・ノウハウに加え、新しいこと、不可能とされることに積極的に取り組む姿勢で、あらゆる加工対象・材質に取り組み、国内外に他の追随を許さない高精度領域の加工技術を確立している。

●2007 年経済産業省元気なものづくり中小企業 300 社認定

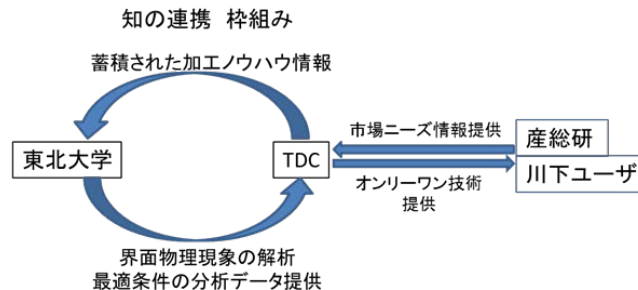
●2014 年経済産業省グローバルニッチトップ企業 100 選認定

本開発の共同研究者である、東北大学原子分子材料科学高等研究機構栗原研究室の栗原和枝教授は、表面力・共振すり測定を中心として、様々な界面の評価法を開発し、界面における機能の研究や未知現象の発見など高い成果を挙げ、さらに装置製作を行うなど、界面のナノレベル計測に多くの実績を有している。東北発素材技術先導プロジェクトにおいては、ナノレベルからの摩擦研究に成果を挙げている。オーストラリア化学会による A.E. Alexander Lectureship Award（2011）や IUPAC（国際純正・応用化学連合）における Distinguished Women in Chemistry/Chemical Engineering（2013）をはじめとする受賞をしており、国内はもとより世界的に著名な界面化学の研究者である。

また、現在は界面科学とコロイドの研究分野における研究者の国際連携と研究推進を目的とし

ている国際組織である IACIS(International Association of Colloid and Interface Scientists, Conference)の会長である。

本開発において、ティ・ディ・シーは、栗原研究室との協力により、従来技術者の勘やセンスに依存していた技術開発や加工技術の効率化を、ナノ計測を活用して実現する。このティ・ディ・シーと東北大学の連携は、様々な材質の高精度研磨加工に応用可能であり、研磨技術の高度化につながる革新的な枠組みである。



※将来のパワー半導体向けとして SiC 基板の需要増大が見込まれるが、基板価格が高額という問題があり、革新的なソリューションが求められている。単結晶材料に代わる多結晶貼り合せ基板の事業化、ならびにそのための基板製造工程における TDC と東北大学の連携による研磨技術の高度化・効率化は、コスト・品質両面から産業振興に貢献をする取り組みである。

本開発のアドバイザーである株式会社サイコックスは、多結晶基板上に単結晶基板を貼付ける方式(SiC 貼り合せ法)を用いて、単結晶基板のみを使う場合と比べて品質は保持しながらも基板価格を従来の半分～5分の1にする独自の特許技術を保有している。

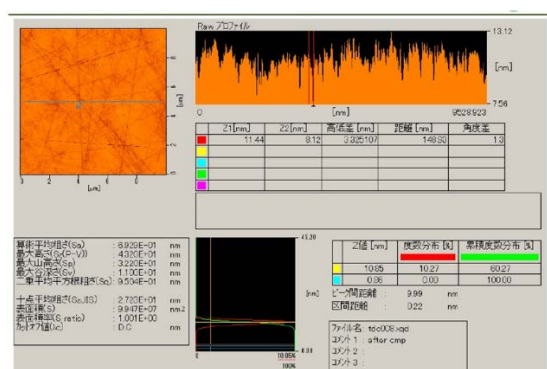
同社は既に研究フェーズは終え、今回の全体の事業計画の川下企業となる電子大手企業の加賀電子に基板を供給することで2016年よりサンプル出荷を開始し、2020年には6インチ基板大量生産開始を計画している。この大量生産計画を実現するために TDC での早急な研磨技術確立が不可欠となる。

本開発においてはアドバイザーとして独立行政法人産業技術総合研究所の協力も得る。次世代パワーデバイスとしての SiC 基板や研磨技術に関する市場ニーズの情報提供を受ける。

・これまでのPL企業における取り組み

4インチ多結晶基板への研磨加工に取り組み、Ra 1 nm 以下には達している。(Ra0.69nm の実績データを図3に示す) 多結晶基板には、Si 結晶と C 結晶が混在していることからそれらの硬度の違いにより、更なる面粗さ向上が困難である。これは、表面に微小な凹凸ができてしまうことに起因するが、柔らかい研磨定盤を用いると結晶粒に追従して研磨がされるため、硬度の違いにより研磨レートに差ができてしまうことや、硬い研磨剤を用いると定盤と対象物が当たることにより結晶粒の脱落が起きてしまうことが原因である。その為従来シリコンや単結晶 SiC で有効な CMP プロセスの単純な応用では本開発が目指す平滑性を求めることが難しいということが判明した。従来のラッピング、ポリッシングプロセスでは、工具に相当する研磨定盤が加工対象物と共に削れることによって、研磨面への当たり方の強弱が調整されているが、今回の対象物に対しては、常に研磨定盤の平滑性が保たれ、対象物の天面に定盤が当たるようにナノレベルで研磨界面へ接触をコントロールすることが求められる。そのための定盤材質、研磨剤、加工条件のナノ界面解析による最適化が有効だという見解に至る。

〈図3、TDCにて研磨テストを行なった際の AFM 検査データ Ra0.69nm〉



研究開発の高度化目標及び技術的目標値

(3) 川下分野横断的な共通事項

②高度化目標

ア) 当該技術が持つ物理的諸特性の向上

エ) プロセスの革新・IT 活用的高度化

オ) 生産性・効率化の向上、低コスト化

SiC パワーデバイスの需要の増大に伴い、SiC ウエハ価格の低減は不可欠な要件であるが、基板材料費・加工費ともに高額であるため、多結晶・単結晶貼り合せ技術を用いたウエハに期待が集まっている。

多結晶・単結晶貼り合せ基板のプロセスにおいて、多結晶基板の面粗さが不十分だと、接合品質が確保できず、貼り合せ基板として機能しない。貼り合せのために求められる面粗さは Ra0.3nm 以下である。

＜今までの取組とそこから見えた課題・目標＞

従来単結晶 SiC の研磨技術として CMP が一般的であり、この方式で単結晶においては Ra0.1nm オーダーが実現可能である。一方多結晶においては、精密研磨技術が確立されていない。既に CMP 手法を多結晶基板に適用してφ3inch での研磨加工に取り組み、Ra1 nm 以下には達している。目指す面粗さは Ra0.3nm 以下である。面粗さが目標に至らない原因は、表面に微小な凹凸ができてしまうことであるが、柔らかい研磨定盤を用いると結晶粒に追従して研磨がされるため、硬度の違いにより研磨レートに差ができてしまうことや、硬い研磨剤を用いると定盤と対象物が当たることにより結晶粒の脱落が起きてしまうことが原因である。その為従来シリコンや単結晶 SiC で有効な CMP プロセスの単純な応用では本開発が目指す平滑性・平坦性を求めることが難しいということが判明した。多結晶に Ra0.3 ナノ以下の面粗さを実現するために革新的な研磨手法の確立を目指す。

また、将来的な事業化を見据えた場合、プロセスとしての大面積化は不可避であり、そのために求められる貼り合せ基板品質として、反りや歪み、厚みばらつきの制御が必要となってくる。大面積での貼り合せ時に反りや歪みは基板割れ・破損の原因となるからであり、また厚みばらつきは貼り合せ品質に影響を及ぼすからである。反りや歪み低減には加工ストレスの小さい加工方法の確立が求められる。

今まで取り組んできた研磨手法は、荒ラップ、中仕上げラップ、仕上げポリッシングの手順を経ているが、この方法ではそれぞれの工程に長時間を要しており、仕上げまでに 1 枚当たり 80 時間程度を要している。事業化・量産化を目指す本開発において、加工時間はそのままコストに影響を及

ばすため、各工程における加工時間の短縮も課題である。

精密機械加工の中でも研磨技術はとりわけ熟練技術者の経験や勘に依存するとされている。当社では従来技術の伝承に加え、職人技術の自動化・効率化を目指した装置開発を行ってきた。本開発においても装置開発による自動化や再現性の確保に取り組む。

今回、東北大学栗原研究室との共同研究によって、被研磨品と研磨定盤・研磨砥粒・研磨液・加工圧力・温度などの相関関係を解析する。ナノ界面での研磨現象を解析することにより、Si 結晶、C 結晶の研磨量の制御を行う。具体的には、ナノ計測や大学の知見を活用する。本開発では研磨界面（研磨定盤と研磨対象物の間）の研磨液による濡れ性、研磨液の流れ・粘性、砥粒サイズ・砥粒分布による摩擦と潤滑の関係を定量評価する。このことによって従来自社内の実験でトライアンドエラーを繰り返して導き出していた面粗さの向上や研磨量の制御の手法を効率的に確立する。

【1】主に機械的研磨手法を用いた接触条件の定量化と最適化（（株）ティ・ディ・シー、東北大学）

【1-1】面粗さ向上のための取り組み（荒研磨～中仕上げ工程での取り組み）（（株）ティ・ディ・シー：H27～H29 年度実施）

- 荒研磨目標面粗さ Ra2 nm以下、中仕上げ Ra1 nm以下
- 微分干渉顕微鏡観察にてキズ・スクラッチが最小であること

荒研磨～中仕上げ工程の効率化を行う。

従来 Ra1 nm 以下には到達実績があるが、より加工時間を短くするための、装置、研磨定盤、砥粒、研磨液など諸条件の最適化を目指す。

	年度目標
H27 年度	【目標値：Ra1nm 以下到達時間：10 時間/枚（φ4 インチ）】
H28 年度	【目標値：Ra1nm 以下到達時間：5 時間/枚（φ4 インチ）】
H29 年度	【目標値：単結晶 Ra0.2nm 以下 到達時間：12 分/枚（φ4 インチ）多結晶 Ra1 nm 以下 到達時間：1 時間/枚（φ4 インチ）】

【1-2】平面度・TTV 向上のための取り組み（（株）ティ・ディ・シー、東北大学：H27～H29 年度実施）

- TTV1 μm 以下

荒研磨～中仕上げプロセスにおいて、加工ストレスの小さい加工方法の確立

加圧や摩擦が加工ストレスとなり、基板の反りや歪みの原因となることから、

ストレス低減のために東北大学から学術的知見を活用する。理論を加工で実践し、最適条件を確立する。

	年度目標
H27 年度	テスト加工実績データの蓄積、東北大学とのディスカッションによる【データシート作成】
H28 年度	【目標値：TTV5 μm 以下、反り 10 μm 以下（φ4 インチ）】
H29 年度	【目標値：TTV1 μm 以下、反り 1 μm 以下（φ4 インチ）】

【2】主に化学的な接触条件の定量化と最適化（（株）ティ・ディ・シー、東北大学）

【2-1】ティ・ディ・シーでの面粗さ向上のための取り組み（最終仕上げ工程での取り組み）（（株）ティ・ディ・シー：H27～H29 年度実施）

- 面粗さ Ra0.3 nm以下（AFM 測定）
- 管理パラメータの洗い出し
- 加工条件ごとの仕上がり記録をデータ化する

加工条件に変更を加えながら実験を行い、東北大学の知見も活用し最適解を導く。

	年度目標
H27 年度	【目標値：面粗さ Ra0.5nm 以下（φ 4 インチ）】
H28 年度	【目標値：面粗さ Ra0.3nm 以下（φ 4 インチ）】
H29 年度	【目標値：単結晶：面粗さ Ra0.1nm 以下、処理時間 40 分/枚（φ 4 インチ）多結晶：面粗さ Ra0.3nm 以下、処理時間 1 時間/枚（φ 4 インチ）】

【2-2】東北大学での面粗さ向上のための取り組み（最終仕上げ工程での取り組み）（株）ティ・ディ・シー、東北大学：H27～H29 年度実施）

- 加工プロセスと結果の記録から、ナノ界面での研磨現象を解析する。
- 解析結果から最適加工条件を導く。

研磨に関する条件を分解し、砥粒とワーク、定盤とワーク、研磨液と定盤、などそれぞれの相関関係として捉えて分析する。

	年度目標
H27 年度	TDC でのテスト加工実績データの蓄積、東北大学とのディスカッションによる【データシート作成】
H28 年度	【目標値：面粗さ Ra0.3nm 以下（φ 4 インチ）】【データシート作成】
H29 年度	TDC でのテスト加工実績データの蓄積、東北大学とのディスカッションによる【データシート作成】

【3】研磨装置全体の管理パラメータの最適化と装置開発（（株）ティ・ディ・シー）

【3-1】研磨装置全体の管理パラメータの最適化と装置開発（（株）ティ・ディ・シー：H27～H29 年度実施）

- 最適化した加工プロセスの再現性・効率化のために装置開発を行う。
- 特に粗～中研磨加工スピードの高速化・効率化をめざす。

装置を開発することにより将来の自動化・量産対応を可能とする。

	年度目標
H27 年度	装置開発
H28 年度	装置の改造・最適化
H29 年度	装置の改造・最適化

【4】品質評価（（株）ティ・ディ・シー、東北大学）

AFM による面粗さ評価と、キズ・スクラッチの評価を行う

【4-1】AFM での表面状態観察→測定技術の確立・加工へのフィードバック（（株）ティ・ディ・シー、東北大学：H27～H28 年度実施）

AFM 測定を東北大学・産総研で行い、測定データを入手後加工にフィードバックする。効率的加工技術確立のための体制を構築する。

	年度目標
H27 年度	東北大学、産総研での測定、測定結果相関の確認、測定結果を受けての加工戦略の立案
H28 年度	東北大学、TDC での測定、測定結果相関の確認、測定結果を受けての加工戦略の立案

【4-2】AFM での表面状態観察（社内での測定）→加工へのフィードバック（（株）ティ・ディ・シー：H27～H29 年度実施）

従来 TDC では測定・評価による技術の見える化を行うことで技術の高度化を成し遂げてきた。

測定恒温室を工場の中央に設置し、加工に携わる技術者が自ら表面状態をつぶさに観察することで、探求心豊かに次の一手を考えるクリエイティブな取り組み姿勢を醸成している。本開発においても TDC の開発方針を採用すべきと考える。

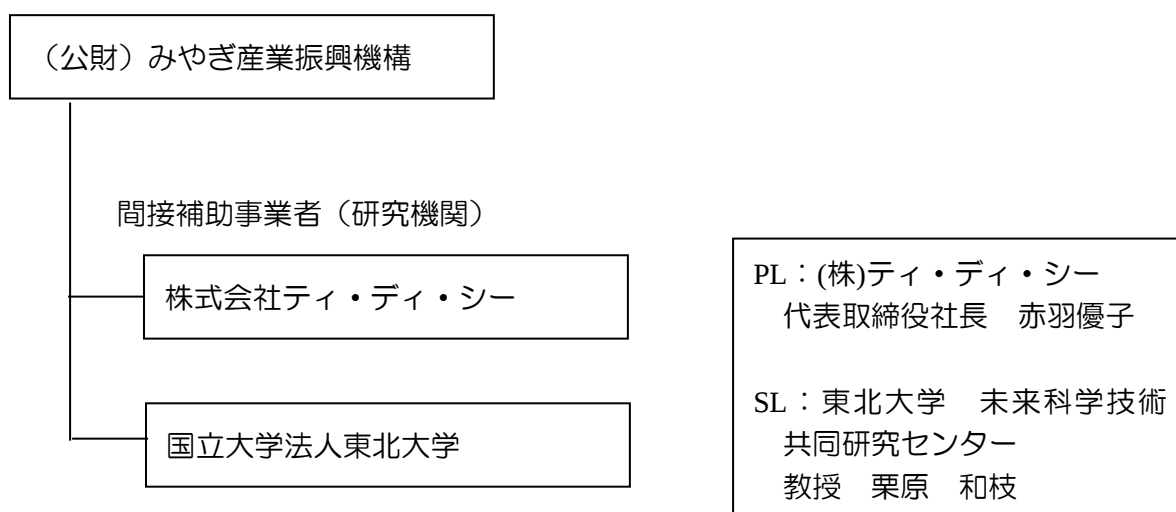
- 測定装置の導入
- 社内評価可能な環境を整備する

	年度目標
H27 年度	TDC での測定、加工結果を確認し次の加工戦略を検討できる体制の確立
H28 年度	TDC での測定、加工結果を確認し次の加工戦略を検討できる体制の確立
H29 年度	TDC での測定、加工結果を確認し次の加工戦略を検討できる体制の確立 信頼性の高い加工技術の確立のための品質管理体制の構築

1-2 研究体制

1-2-1

補助事業者（事業管理機関）



1-2-2 管理員及び研究員

【補助事業者】 みやぎ産業振興機構

氏名	所属・役職
熊谷 実	産業育成支援部 部長
清正 真砂	産業育成支援部 地域連携推進課 課長
石川 仁	産業育成支援部 地域連携推進課 課長補佐
小野寺 桂三	産業育成支援部 地域連携推進課 技術力向上専門員

【間接補助事業者】（研究機関）

（株）ティ・ディ・シー

氏名	所属・役職
赤羽 優子	代表取締役社長
武藤 要	専務取締役
佐藤 幸男	業務部 課長
石垣 正	精密技術部 課長
佐藤 政利	精密技術部
森川 聖司	精密技術部
森川 修一	精密技術部

国立大学法人東北大学

氏名	所属・役職
栗原 和枝	未来科学技術共同研究センター 教授
水上 雅史	多元物質科学研究所 准教授
田邊 匡生	大学院 工学研究科 助教

【アドバイザー】

氏名	所属・役職
加藤 光治	（株）サイコックス ファウンダー
前田 龍太郎	国立研究開発法人産業技術総合研究所 エレクトロニクス・製造領域戦略部 上席イノベーションコーディネータ
水上 正二	加賀電子（株） 技術統括部 技術管理マネージャ

1-3 成果概要

以下の表に示す通り、当初の目標をおおむね達成することができた。

【1-2】の多結晶の反り【2-1】多結晶の面粗さについては、目標に到達することができなかったものの、推進会議の折にアドバイザーに市場ニーズの確認を行ったところ、いずれも用途によっては許容範囲となることがあり、また、今後の追加開発によってクリアできるものと判断された。

研究項目	目標値	達成状況	
【1-1】面粗さ向上のための取り組み	単結晶：Ra0.2nm以下、12分/枚 多結晶：Ra1nm以下、1時間/枚 ($\phi 4in$)	単結晶：Ra0.2 nm 10分/枚 多結晶：Ra1 nm 3分/枚 ($\phi 4in$)	✓ ✓ ✓ ✓
【1-2】平面度・TTV向上のための取り組み	• TTV1 μm 、 • 反り1 μm 以下 ($\phi 4in$)	単結晶：TTV 2 μm 、 反り2 μm 多結晶：TTV 1 μm 、 反り25 μm	✓ ✓ ✓ 未達

【2-1】ティ・ディ・シーでの面粗さ向上のための取り組み	・単結晶：Ra0.1nm 以下、40 分/枚 ・多結晶：Ra0.3nm 以下、1 時間/枚（φ4in）	単結晶：Ra0.05 nm 20 分/枚 多結晶：Ra0.357 nm 36 分/枚	✓ ✓ 未達 ✓
【2-2】東北大学での面粗さ向上のための取り組み	・データシートの作成	・データシートの作成 ・砥粒分析	✓ ✓
【3】研磨装置全体の管理パラメータの最適化と装置開発	装置の最適化	装置開発、改良の完了	✓
【4-1】AFM での表面状態観察（東北大学・産総研測定）→加工へのフィードバック	測定の実施 測定結果を加工にフィードバック	測定の実施 測定結果を加工にフィードバック	✓
【4-2】AFM での表面状態観察（社内測定）→加工へのフィードバック	品質管理体制の確立	品質管理体制の確立	✓

1-4 当該研究開発の連絡窓口

【事業管理機関】

公益財団法人 みやぎ産業振興機構

産業育成支援部 地域連携推進課 小野寺 桂三

〒982-0011

宮城県仙台市青葉区上杉 1 丁目 14 番地 2 号

TEL：022-225-6638 FAX：022-263-6923

E-mail：koudo@joho-miyagi.or.jp

【研究機関】

（株）ティ・ディ・シー

代表取締役 社長 赤羽 優子

〒981-0113

宮城県宮城郡利府町飯土井字長者前 24-15

TEL：022-356-3131 FAX：022-356-3578

E-mail：yuko@mirror-polish.com

第2章 本論

【1】主にラッピング手法を用いた接触条件の定量化と最適化（（株）ティ・ディ・シー、東北大学）

【1-1】面粗さ向上のための（粗研磨～中仕上げ工程での）取り組み（（株）ティ・ディ・シー：H27～H29 年度実施）

＜当初計画＞

テスト加工を通して研磨定盤材質（硬さ）・研磨剤（材質・粒径・粒度分布）や加工圧力などの管理パラメータ相関関係の確認を行い、加工実績のデータ分析を行い、最適条件を導く。定量評価は、研磨定盤・研磨剤・加圧などのパラメータを少しずつ変更して加工実験を行い、そのプロセスと結果を記録する。

＜ラッピング手法開発のための管理パラメータと管理内容＞

- 回転数：定盤材質・溝形状、研磨剤の管理に合わせて回転数の調整を行う
- 加圧：加圧により高速化を目指す、傷のつきやすさや面の荒れやすさも加味して最適解を見出す
- 研磨定盤材質：錫、樹脂、ウレタンなどの定盤材質とダイヤモンド研磨剤との相性の確認
- 研磨定盤溝形状：放射状、スパイラル形状、対角線形状など定盤溝形状による砥粒・切子排出機能・ドレッシング機能の確認
- 研磨剤（多結晶ダイヤモンド）粒径：6 μ m、3 μ m、1 μ m、サブマイクロ、など粒径の違いによる段階的の面粗さ向上プロセスの最適プロセスを確認する
- 研磨剤粒度分布：粒度分布の違いによりキズの付きやすさに違いがあるのではないかという仮説の検証

以上の結果を元に専用の研磨装置を開発し、この専用装置を用いてテスト加工・評価・装置を開発した。（H28年度）

本専用装置については、引き続きテスト加工と装置の調整・改造を行い、最適化する。（H29年度）

＜H27 年度の取り組み＞

サボイン推進会議において多結晶 SiC の技術開発を効率的に進める手順の協議を行い、まず技術的難易度の低い単結晶 SiC に取り組み、そこで得られた知見や技術を多結晶に応用する形で開発を進めることとした。

また、当初の AFM 測定は東北大学で行ったが、東北大学・産総研とも AFM 試料サイズが $\square 10$ mm以下であり、高額なウエハを測定の都度切断する時間と費用を節約するため、研磨テストを一貫して $\square 10$ mm基板にて行った。治具上に複数枚（10～12 枚の配置を工夫しながら）貼って同時加工を行ったため、面積としては 4 インチ相当とも見込め、治具あたりの粗研磨時間としては 8 時間/台となっていることからおおよその時間目標は到達したと言えるが、ウエハとしての厳密な時間管理は行えなかった。

＜H28 年度の取り組み＞

単結晶、多結晶ともに $\phi 4$ インチサイズでの加工を行い、加工時間の短縮、面粗さの目標達成を目指した。

H27 年度の取り組みにおいて、単結晶では市場ニーズの Ra0.2 nm 以下の面粗さが達成されたことから早期の事業化が見込めることとなった。市場ニーズを満たす価格での販売を実現するには、粗研磨での加工時間の短縮が重要となる。その為 H28 年度は特に単結晶の粗研磨・中研磨の加工時間の短縮に向けた加工プロセスの構築を行った。具体的には、両面 CMP 手法を用いて、加工残留応力の低減と面粗さ低減が同時に実現できる加工プロセスを構築した。また、H27 年度同様に単結晶のテスト加工で得られたことを応用する形で多結晶の研磨テストの効率化を目

指した。

また 27 年度の取り組みにおいて、粗研磨・中研磨研磨後の加工時間や面粗さ管理が、反り対策やその後の仕上げ研磨プロセスに大きく影響することが分かった。このため H28 年度は粗研磨段階においても粗さ管理、途中のこまめな AFM 測定を実施した。AFM 測定に際しては表面への付着物を防止することが不可欠であることから、クリーンブース内で中研磨加工・洗浄・簡易梱包を行い、測定室に運ぶという体制を整えた。粗研磨工程での面粗さは単結晶 Ra0.4 nm、多結晶 Ra1 nm 以下を達成した。加工途中で入る小さなキズが、仕上げ研磨工程の時間を長引かせるため、キズ発生のない工程の確立が必要である。

<H29 年度の取り組み>

粗研磨工程でのキズの低減（砥粒・定盤・加圧条件の最適化）、キズ発生が工程時間を長引かせる、これは粗研磨工程で発生する大きな傷はもちろんだが、表面粗さが荒い段階では見えないような微細な傷（潜傷）があっても、仕上げ工程においては加工時間を長引かせる原因となる。そのため大小関わらずイレギュラーな傷が入らない加工工程を確立し、加工時間の短縮に取り組んだ。また、面粗さの向上においては、H27 年、H28 年に蓄積したデータと、更なるテスト加工をもとに最適な研磨プロセスを確立した。

年度ごとの具体的内容			
H27 年度	加工時間短縮のためのテスト加工（管理パラメータごとのテスト加工）、管理パラメータごとの加工結果（粗さ・表面状態・加工レート）の実績データの作成		
	実施計画		実績
	単結晶	面粗さ：Ra1nm 以下 時間：10 時間/枚（φ4 インチ）	面粗さ：Ra0.38nm 時間：8 時間/治具（φ120 治具上に□10 mmサイズを 12 枚貼りつけ）
	多結晶	面粗さ：Ra1nm 以下 時間：10 時間/枚（φ4 インチ）	面粗さ：Ra1.12nm 以下 時間：未管理
H28 年度	ラッピング手法の開発効率の向上のため両面 CMP 装置の導入 両面ラッピングによる粗研磨プロセスの導入 加工時間短縮のためのテスト加工、 テスト加工実績データの蓄積		
	目標		実績
	単結晶	面粗さ：Ra0.4 nm 以下 時間：3 時間/枚（φ4 インチ）	面粗さ：Ra0.2 nm 時間：40分/枚
	多結晶	面粗さ：Ra1nm 以下 時間：5 時間/枚（φ4 インチ）	面粗さ：Ra1nm 以下 時間：5 時間/枚（φ4 インチ）
H29 年度	目標値【単結晶：Ra0.2nm 以下到達時間：12分/枚（φ4 インチ） 多結晶：Ra1nm 以下到達時間：1 時間/枚（φ4 インチ）】 粗研磨・中研磨工程でのキズの低減（砥粒・定盤・加圧条件の最適化 加工時間短縮のためのテスト加工、テスト加工実績データの蓄積		
	目標		実績
	単結晶	面粗さ：Ra0.2 nm 以下 時間 3 時間/枚（φ4 インチ）	Ra0.2 nm 10 分/枚
	多結晶	面粗さ：Ra1 nm 以下	Ra1 nm

		時間：5 時間/枚（φ4 インチ）	3 分/枚
--	--	-------------------	-------

【1－2】平面度・TTV 向上のための取り組み（(株)ティ・ディ・シー、東北大学：H27～H29 年度実施）

＜当初計画＞

平面度、TTV には加工ストレスや基板両面に対する加工ストレスのばらつきが影響するため、両面加工の負荷を最小にかつ、バランスすることを目指して両面ラッピング、両面 CMP プロセスによる面粗さの向上を目指す。

H27 年度の取り組みから、反り対策の重要性が高まり、粗研磨の段階には両面ラッピングを導入することとし、加工応力の均等化をはかる。次工程の中研磨においては、自社製の装置を用いて両面 CMP にて面粗さを Ra1nm 以下とし、加工負荷、面粗さともに同時に小さくしていくこととした。

単結晶・多結晶いずれも将来の事業化にとって大面積化は不可避であり、大口径ウエハのプロセスにおいて反りは基板破損の原因となることから、基板の反りは重要なスペックとなる。低負荷で反りや歪みが出ない加工方法として粗研磨は両面ラッピング、中研磨は両面 CMP とした。

テスト加工を通して得られる管理パラメータごとの加工結果（面粗さ・加工レートなど）のデータを加工実績のデータを東北大学と共有し、ディスカッションや解析手法を通して界面での研磨現象の分析を行い、最適条件を導くことを目指す。

＜ラッピング条件最適化のために分析する管理パラメータ＞

●定盤材質●砥粒材質●粒径●加圧●回転数●温度など

＜H27 年度取り組み＞

単結晶□10 mm サイズでのテスト研磨の結果、基板が非常に反りやすいということが判明した。

特に粗研磨プロセスでは基板への加工応力が入りやすいこと、両面からの加工応力をバランスすることが重要であることが判明した。当初段階的に砥粒の粒径を下げる片面ラッピングでの粗研磨の追込みを行う予定だったが、反り対策のために工程を見直し、H28 年度は反り低減に向けて両面ラッピング手法を導入することとした。

＜H28 年度の取り組み＞

φ4 インチでの加工をすることで、□10 mm で問題になったような大きな反りの問題については軽減ができた。尚、30 ミクロン以下程度の反りが残るが、大きな反りは切断による応力が影響し、現在残る反りについては研磨にて一層の反り低減に取り組むこととした。

反り低減・加工応力バランスのための加工方法を確立するために、両面同時加工のプロセス構築を行った。

＜H29 年度の取り組み＞

東北大学は摩擦摩耗試験による研磨対象物の解析や、レーザー顕微鏡と原子間力顕微鏡により同じ場所を連続して観察出来るナノサーチ顕微鏡(東北大設備)に用いて粗研磨～中仕上げ行程の表面の観察を行い、(株)TDC にフィードバックをすることができた。

また、面粗さの確認において、28 年までの取り組みから研磨表面の洗浄性が重要となることが判明したため、洗浄手法についても東北大学の設備・知見を活用し、表面清浄性の向上を行った。

年度ごとの具体的内容		
H27 年度	加工ストレス低減のためのテスト加工、 テスト加工実績データの蓄積、東北大学とのディスカッション	
	目標	実績

	テスト加工実績データの蓄積、東北大学とのディスカッションによる【データシート作成】	テスト加工実績データの蓄積、東北大学とのディスカッションによる【データシート作成】 予定通り達成
H28年度	加工ストレス低減のためのテスト加工、テスト加工データの蓄積、東北大学・TDC 協力してデータ解析→テスト加工へフィードバック	
	目標	実績
	TTV5 μm 以下 反り 10 μm 以下 ($\phi 4$ インチ)	TTV2 μm 以下 反り 30 μm 以下 加工ストレス低減のためのテスト加工の実施、実績データの蓄積
H29年度	【目標値：TTV1 μm 以下、反り 1 μm 以下 ($\phi 4$ インチ)】 加工ストレス低減のためのテスト加工、テスト加工データの蓄積、加工プロセスの確立	
	目標	実績
	TTV1 μm 以下 反り 1 μm 以下	定盤管理による TTV、反り対策

【2】主に CMP を用いた接触条件の定量化と最適化（（株）ティ・ディ・シー、東北大学）

【2-1】ティ・ディ・シーでの面粗さ向上のための取り組み（最終仕上げ工程での取り組み） （（株）ティ・ディ・シー：H27～H29 年度実施）

＜当初計画＞

最終仕上げ研磨においては、CMP 手法を用いた面粗さの向上が求められる。

CMP プロセスにおける加工条件の最適化を行う。以下のパラメータを微調節しながら TDC 社内での実験を行い、その条件と結果の作業履歴を記録に残す。この研磨工程での微調整とその履歴の管理が、SiC への高精度の面粗さを実現するためのキーとなる。そのために専用の CMP 片面ラッピングマシンを導入する。本装置は加圧・揺動・強制駆動が可能なものとし、また、ウエハの固定方法についても吸着、接着など基板への負荷が小さくなる方法への転換が可能なようにする。またその加工結果を用いて東北大学栗原研究室での研磨現象の解析を行い

【2-2】、最終仕上げ工程での Ra0.3nm 以下に到達する加工プロセスを確立する。

具体的には下記パラメータを管理・変更しながら様々な加工実験を行い、作業履歴を記録に残す。

＜CMP 開発のための管理パラメータ＞

●加圧 ●研磨砥粒 ●研磨液 ●研磨パッド（研磨定盤）

＜H27 年度取り組み＞

重点的に単結晶 SiC の研磨技術開発を行ったことにより、単結晶では Ra0.2nm 以下の面粗さに到達することができ、早期の事業化が見込めることとなった。また H27 年度で行った単結晶への取り組みにおいては、研磨剤・加工条件などを多様に分けてデータ収集を行ったが、単結晶でのテスト実績を多結晶に応用・活用するという当初の狙い通り、単結晶での実績によって、多結晶への取り組みにおいてテストすべき項目を絞ることができた。具体的には CMP スラリーとパッドの組み合わせが明確になり、多結晶プロセスの組み立てに際してはスラリーとパッドをセットとしてトライすることとする。

＜H28 年度の取り組み＞

H28 年度以降は特に CMP 研磨装置の加工条件の確立を行った。

単結晶、多結晶いずれもウエハサイズでの加工時間短縮・加工コストの圧縮のためのテスト加工を行った。砥粒・研磨液・PH 調整を変えてそれぞれの条件下での加工実績を蓄積し、分析した

ことにより、面粗さの向上に加えて、研磨剤の使用量を抑えて低コストで加工する手法の目途がついた。

<H29 年度の取り組み>

単結晶については研磨剤・パッドなどの条件出しは概ね解決済みであるが、加工時間を短縮し事業化・低コスト化を目指すため、圧力・回転数を最適にするためのテスト加工を行った。

多結晶については、引き続き面粗さ向上のためのテスト加工を実施し、加工実績データの蓄積・分析を行った。

年度ごとの具体的内容			
H27 年度	【目標値：面粗さ Ra0.5nm 以下（φ 4 インチ）】 CMP 開発のため片面ラッピングマシン購入、研磨剤、研磨パッド購入（TDC） 面粗さ向上・加工時間短縮のためのテスト加工（管理パラメータごとのテスト加工）、管理パラメータごとの加工結果（粗さ・表面状態・加工レート）の実績データの作成		
	目標		実績
	単結晶	面粗さ Ra0.5nm 以下（φ 4in）	Ra0.16nm(□10 mm)
	多結晶	面粗さ Ra0.5nm 以下（φ 4in）	Ra0.6nm(□10 mm)
H28 年度	【目標値 単結晶：面粗さ Ra0.1nm 以下（φ 4 インチ） 処理時間 3 時間/枚（φ 4 インチ）多結晶：面粗さ Ra0.3nm 以下（φ 4 インチ） 処理時間 5 時間/枚（φ 4 インチ）】 面粗さ向上・加工時間短縮のためのテスト加工、テスト加工実績データの蓄積 クリーンブース内での加工・洗浄・梱包の工程の確立		
	目標		実績
	単結晶	面粗さ：Ra0.1 nm 以下 時間：3 時間/枚（φ 4 in）	Ra0.1 nm 以下 1 時間/枚（φ 4in）
	多結晶	面粗さ：Ra0.3 nm 以下 時間：5 時間/枚（φ 4 in）	Ra0.6 nm 以下 5 時間/枚（φ 4in）
H29 年度	【目標値 単結晶：面粗さ Ra0.1nm 以下（φ 4 インチ） 処理時間 1 時間/枚（φ 4 インチ）多結晶：面粗さ Ra0.3nm 以下、処理時間 1 時間/枚（φ 4 インチ）】 時間短縮のためのテスト加工、テスト加工実績データの蓄積		
	目標		実績
	単結晶	面粗さ：Ra0.1 nm 以下 1 時間/枚（φ 4 インチ）	Ra0.05 nm 20 分/枚
	多結晶	Ra0.3 nm 以下 1 時間/枚（φ 4 インチ）	Ra0.357 nm 36 分/枚

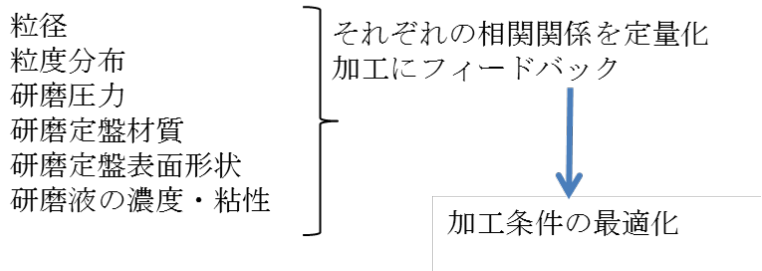
【2-2】東北大学での面粗さ向上のための取り組み（最終仕上げ工程での取り組み）（㈱ティ・ディ・シー東北大学：H27～H29 年度実施）

<当初計画>

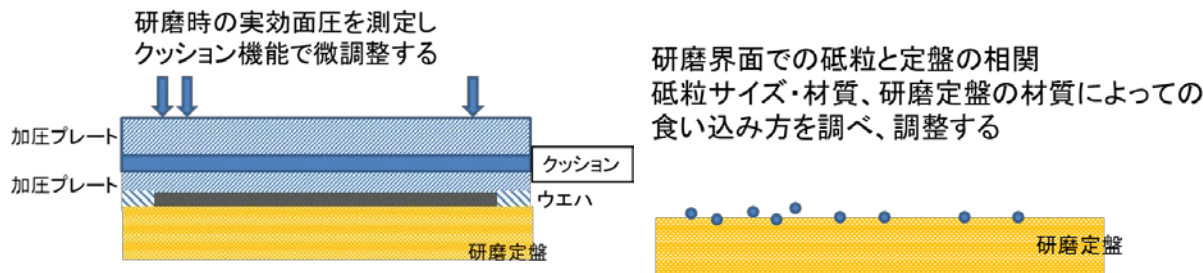
従来技術者の技能に依存する部分が多かった研磨の技術開発において、東北大学でのナノ計測や加工結果のデータを基にしたディスカッションを通じて、効率的な技術開発や、サブナノ領域の

面粗さ、最適なプロセスの確立をする。

ナノ界面での管理パラメータ



＜解析・加工へのフィードバックの一例として＞



＜H27 年度、H28 年度の取り組み＞

H27 年度の取り組みにより、テスト加工の蓄積データを用いた加工技術の検討が技術開発に大きく寄与したことから、H28 年度も同様の取り組みを継続した。（具体的にはテスト加工による加工条件の蓄積、データシート作成、それに基づいた東北大学からのアドバイス等）。また、特に H28 年度は CMP 研磨装置の加圧条件の最適化に取り組み、その際に定盤材質と回転数・加圧条件による研磨剤の切れ味の確保について大学の知見を活用した。

＜H29 年度の取り組み＞

研磨定盤とワークとの摩擦や研磨剤・研磨液による潤滑を確認するための試験を実施した。また、X 線による歪み解析を行い、加工負荷や加工レートと歪み・基板反りの相関を確認し、加工へフィードバックを行った。

加工データの蓄積、データシートのまとめを行い、それを元に加工手法確立のために、TDC, 東北大学間で議論を行い、最適工程の確立、加工へのフィードバックを行った

年度ごとの具体的内容		
H27 年度	目標	実績
	TDC でのテスト加工実績データの蓄積、東北大学とのディスカッション【データシート作成】	TDC でのテスト加工実績データの蓄積、東北大学とのディスカッション【データシート作成】
H28 年度	目標	実績
	TDC でのテスト加工実績データの蓄積、東北大学とのディスカッション【データシート作成】	TDC でのテスト加工実績データの蓄積、東北大学とのディスカッション【データシート作成】
H29 年度	目標	実績
	TDC でのテスト加工実績データの蓄積、東北大学とのディスカッション【データシート作成】	TDC でのテスト加工実績データの蓄積、東北大学とのディスカッション【データシート作成】

【3】研磨装置全体の管理パラメータの最適化と装置開発（（株）ティ・ディ・シー） <当初計画>

【3-1】研磨装置全体の管理パラメータの最適化と装置開発（（株）ティ・ディ・シー：H28～H29 年度実施）

本開発の事業化のために、装置開発を行う。

上記の【1】、【2】では、物理的・化学的アプローチの実験・計算・解析で求められたデータを元に実際の加工を行うことで、この時の研磨状態や発生する問題点を確認し、データとの相関を確認する。この結果を加工へフィードバックし、また再度の計算・解析を実施してデータとしての完成度を高める。

【3】においては、【1】【2】で求められた最適条件を繰り返し応用可能とするため鏡面加工機の製作を行い、再現性確保や大面積化、量産対応への応用へつなげる。（H28 年度、H29 年度）

<具体的な改造テーマ>

- ・管理パラメータの微調節が可能な構造への対応（圧力・回転数・温度管理の調整のため）
- ・量産化・大面積化に向けて高剛性対応の主軸構造への対応
- ・回転機構のスムーズさ調整のための構造変更

<H27 年度の取り組み>

研磨装置は当初 H27 年に 1 台購入し、テスト加工結果に基づいて改造を加えるものと、新たに設計製造したものを H28 年に導入する予定でいたが、H27 年は実際にはテスト加工による条件出しを終えたのみで装置製作には着手が出来なかった。

<H28 年度の取り組み>

H27～H28 にかけてのテスト加工、加工データの蓄積・分析により、加工レート、工程全体の時間、仕上がり面粗さ、反り、TTV のいずれに対しても最適と思える装置構造を検討し、装置製作を行った。

導入した装置によるテスト加工を行い、加工レート・工程全体の時間短縮、反りの低減がかなえられた。仕上がり面粗さと TTV の向上のためには更なるテスト加工・条件出しとそれに伴う装置の微調整を行う。

<H29 年度の取り組み>

面粗さ・TTV 向上のためのテスト加工、条件出しと装置の微調整・最適化を行った。キズ発生対策のための定盤制御、研磨剤、研磨液制御を行い、定盤精度管理のための専用ドレッシング機構を追加した。

年度ごとの具体的内容		
H28 年 度	目標	実績
	【装置の設計・製造・最適化】	【装置の設計・製造・最適化】
H29 年 度	目標	実績
	【装置の最適化】 キズ発生対策・加工時間の短縮・反り・TTV などの目標値を実現する装置構造の確立	【装置の最適化】

【4】品質評価（（株）ティ・ディ・シー、東北大学） <当初計画>

面粗さ・キズ・平面度・加工変質層の評価、原子間力顕微鏡（AFM）を用い、加工条件によって、基板へのキズや面荒れなどのダメージ状態を確認し、評価する。

上述の【1】【2】開発において、表面の加工進捗、キズ、基板へのダメージなどを AFM による表面観察により確認し加工にフィードバックすることで最適条件の確立に結び付ける。

【1】【2】の開発を効率的に進めるために、加工進捗を確認する AFM を社内に設備することが不可欠である。将来の事業化に向けても AFM での品質保証は不可欠であるため、信頼性の高い加工技術に合わせて品質保証体制も確立する。

【4-1】AFM での表面状態観察→加工へのフィードバック・測定技術の確立（（株）ティ・ディ・シー、東北大学、産総研：H27～H28 年度実施）

AFM 測定を東北大学または産総研で行い、測定データを入手後加工にフィードバックする。

社内に AFM 測定環境を確立する。このために AFM を平成 27 年度に購入する。

一方で信ぴょう性の高い測定を確保するために委託測定も一定期間継続する。

＜H27 年度取り組み＞

東北大学・産総研での測定を実施し、加工にフィードバックをするという当初の狙いを達成することが出来た。

＜H28 年度の取り組み＞

加工時間短縮、技術向上のために、測定データを活用して最適プロセスを導く取り組みを深堀する。

既に TDC に AFM が導入されたが、測定結果に基づく表面解析結果を加工にフィードバックするについては、東北大学・産総研での表面解析の知見を活用した。本開発において AFM 測定は単に面粗さを確認するためではなく、表面解析によってより効率的な研磨プロセスの開発に役立てることができた。

年度ごとの具体的内容		
H27 年度	東北大学、産総研での測定、測定結果関連の確認、測定結果を受けての加工戦略の立案 TDC 技術者が東北大学で測定を行う。 加工結果の見える化を行うことで加工技術へのフィードバックを可能とする。 TDC 社内に AFM 測定環境を整備する	
	目標	実績
	東北大学、産総研での測定、測定結果関連の確認、測定結果を受けての加工戦略の立案	東北大学での測定、測定結果関連の確認、測定結果を受けての加工戦略の立案
H28 年度	東北大学、TDC での測定、測定結果関連の確認、測定結果を受けての加工戦略の立案 TDC 技術者が東北大学で AFM 測定を行うことと TDC 社内での AFM 測定をすることで相関関係を確認し、TDC 測定技術の信頼性を高める。加工結果の見える化を行うことで加工技術へのフィードバックを可能とする。	
	目標	実績
	東北大学・産総研での測定実施 TDC での測定実施	東北大学での測定実施 TDC での測定実施

【4-2】AFM での表面状態観察（社内での測定）→加工へのフィードバック（（株）ティ・ディ・シー：H27～H29 年度実施）

＜当初計画＞

AFM による研磨表面の観察・測定を行う。

測定装置を導入し、社内で測定を行う。加工進捗を逐次 AFM で管理することで加工条件変更に伴う研磨状態の変化をつぶさに確認し、次の加工プロセスにフィードバックする。

仕上げプロセス（テーマ【2-1】）においては、各工程を数十秒単位で繰り返す。その度ごとに表面の変化を AFM にて測定し、加工条件の微調整を行う必要がある。そのため TDC 社内の加工設備に近接した場所に AFM を導入する。また、東北大学栗原研究室には実験用のサイズの AFM はあるが、3～6 インチ基板を想定した本開発において、インプロセスでの加工状況を管理するためには切断などをせずそのままのサイズで測定できる必要がある。

●測定装置の導入 ●社内評価可能な環境を整備する

＜H27 年度の取り組み＞

測定器の導入はされ、面粗さも測定できるようになったが、加工技術の高度化や効率化のために測定データの読み取りや解析技術の向上が必要である。

＜H28 年度の取り組み＞

表面状態の測定に留まらず、分析や加工へのフィードバックを行う。《AFM 分析を通して、加工の見える化と効率化を目指す》

東北大学・産総研では AFM の対応サイズが 10 mm 角以下の小片でした測定できなかったが、TDC ではウエハサイズでの測定が可能であるため、実験・研究レベルではなく、事業化や将来の量産を目指した品質管理体制の確立を行った。

＜H29 年度の取り組み＞

事業化へ向けて品質管理体制の確立を行う。

具体的には測定するウエハの清浄性を管理・担保しないと、正しい評価が行えないため、ウエハの洗浄や搬送方法を確立し研磨～品質評価～出荷までの工程と、クリーン環境維持のための仕組みを構築した。

年度ごとの具体的内容		
H27 年度	AFM 購入	
	TDC での測定、加工結果を確認し次の加工戦略を検討できる体制の確立	
	目標	実績
	TDC での測定、加工結果を確認し次の加工戦略を検討できる体制の確立	TDC での測定、加工結果を確認。測定データをもとに加工手順の見直しをするなどの取り組みができた。
H28 年度	TDC での測定、加工結果を確認し次の加工戦略を検討できる体制の確立	
	加工結果の見える化に伴い、技術の向上を目指す	
	結果を即、加工にフィードバックし効率的な技術向上を促す	
	測定⇔測定データを加工にフィードバックを繰り返す	
	目標	実績
	TDC での測定、加工結果を確認し次の加工戦略を検討できる体制の確立	TDC での測定、加工結果を確認し次の加工戦略を検討できる体制の確立
H29 年度	品質管理体制の構築	
	測定段取り時間の短縮	
	クリーン環境維持のための工程作り、ルール作り	
	目標	実績
	計測・品質管理社内規格の作成	計測・品質管理社内規格の作成
	クリーン対応作業工程書作成	クリーン対応作業工程書作成

第3章 全体総括

【研究開発成果】

3年間の事業期間を通じて、上述の通り、技術的目標値をほぼ達成することができた。とりわけ、本開発を通じて①CMPによるキズ発生メカニズムや②反り、TTV対策のための両面CMP技術の確立ができたことは当社の技術の向上に資する取り組みであった。

また、本開発において、東北大学栗原教授の指導により、従来技術者の勘と経験に頼る部分が多かった研磨技術を、体系的にまとめ、それを社内で共有してディスカッションし、加工技術の向上に役立てる取り組みは、これまでの当社の加工技術者の在り方を一新する取り組みであった。このことにより技能の人への偏りがなくなり、また技能の伝承もスムーズになった。今後この仕組みを当社の人材育成に役立てていくこととした。

【研究開発後の課題・事業化展開】

技術的には当初の目標を達成することができたが、本開発を始める前のH26年頃には研磨済みの単結晶SiC基板はφ4インチ1枚当たり20万円程度であったが、現在は4万円程度で市場に流通している。流通量が増えたことで加工のコストが大幅に低減したことが価格低下の原因である。

本開発は、当初単結晶ウエハが高額過ぎるためその代替技術として、多結晶と単結晶を貼りあわせる技術があり、その貼り合わせを実現するための研磨技術の開発を行ったが、現在のように単結晶のウエハ価格が低下したことにより、貼り合わせ基板の優位性がなくなってしまった。このことから貼り合わせ基板の市場価格が低下し、想定していた顧客が希望する研磨費用を実現するには、自動機や生産ラインの追加設備投資を行い、大量生産をするしか方法はない。またこれまでの経緯から、単結晶ウエハと多結晶＋単結晶貼り合わせウエハのコストが逆転してしまい、競争力を失うことも十分に考えられる。少なくとも今後も更なるコストダウンが求められる可能性が高く、現段階では追加で設備投資をして多結晶研磨ビジネスを展開する価値が見いだせない。

一方で、単結晶については、今後もパワー半導体市場からの単結晶SiCウエハのニーズは増えることが見込まれる。こちらでも大量生産となり、追加の設備投資を要するが、本開発において要素技術の確立は達成したので、今後も市場動向を見極め、参入機会を検討する。

本開発成果の研磨技術は、当面大学や研究機関向けにPRを行い、小ロットでの受注確

保を目指す。先端研究分野に単結晶 SiC ウエハを提供することは、当社のビジネスとしてのインパクトは小さいが、今後の多種多様な SiC パワーデバイス開発を支援するという意味で、産業界に貢献でき、価値ある事業と考える。