

平成28年度

戦略的基盤技術高度化・連携支援事業

戦略的基盤事業高度化支援事業

「新規なダイヤモンド接合技術を開発し、革新的機能と
低価格を備えたCMPコンディショナの開発に適応する」

研究開発成果報告書

平成29年4月

担当局 近畿経済産業局

補助事業者 株式会社 アイゼン

目 次

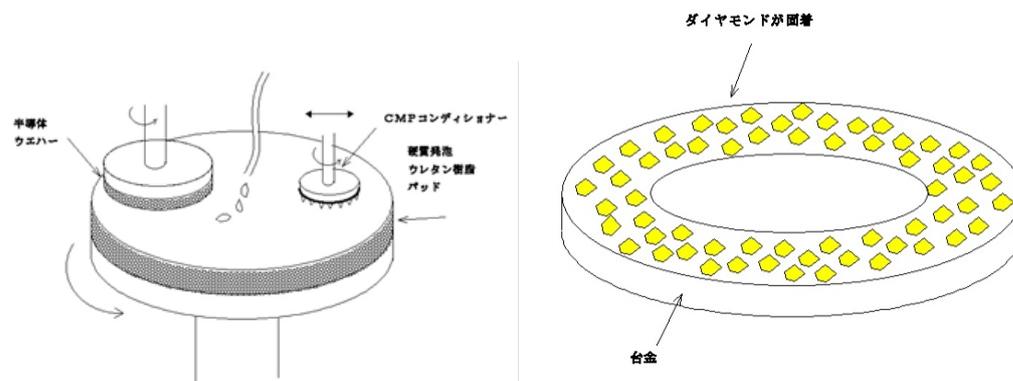
第 1 章 研究開発の概要	3
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	3
1-2 研究体制(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)	6
1-3 成果概要	7
1-4 当該研究開発の連絡窓口	9
第 2 章 本論	
【1】電着・ロー付け融合技術による新規接合技術の開発	9
【2】ダイヤモンド接合ロー材の選択と接合後の歪を最小化する技術の確立	12
【3】ダイヤモンドロー付けと台金接合を可能にする 真空・ガス雰囲気 Hot Press 装置の製作	13
【4】コンディショナ測定装置の製作と製品評価方法の検討	14
【5】CMPコンディショナのパッド改質(コンディショニング)のメカニズムを コンピュータによるシミュレーション解析し最適設計を行う	15
【6】CMPコンディショナの評価試験	16
【7】サンプルの製造と客先評価	17
【8】超低価格CMPコンディショナの製造方法の研究	18
最終章 全体総括	19

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

1-1-1 研究開発の背景

スマートフォンの記録メディアとして多用されているマイクロ SD カードは、2013年 64GB が発売された。わずか、10×15mmの微小カードに、DVD12枚分もの記憶容量がある。近年の半導体デバイスの記録容量の急伸な増加は、微細化技術、高速化のため最短距離で素子を繋ぐ多層配線技術で達成されている。CMPプロセスによる平坦化技術は、多層配線で10層以上もの層間膜の平坦化で重要な技術であり、CMPコンディショナは、CMPプロセスで欠くことができない構成要素といえる。



CMP(ケミカル・メカニカル・ポリッシング)コンディショナとは

この20年間で革新的技術として発展してきた、CMP(ケミカル・メカニカル・ポリッシング 化学機械研磨)は、単結晶半導体ウェハーの平坦化に留まらず、多層配線の層間膜の平坦化に必要な不可欠な基盤技術となった。このCMP加工は発泡硬質ウレタン樹脂(パッド)を張り付けた回転定盤(プラテン)に、ウェハー面に化学反応を起こしつつ、超微細な砥粒を含むスラリーをかけ流し、ウェハーを回転させながら押し付け、超平坦化加工をする技術である。パッド表面はスラリー、ウェハーの研磨剤ですぐに目詰まりし、パッドの表面はグレージングし(ツルツルなる)、ウェハーの研削能力(研磨レート)が低下する。このパッドの能力の低下を防ぎ、安定した再現性の良い、面粗さ・平坦面精度・安定した高研磨レートの確保のため、ダイヤモンドを台金に接合させた工具(CMPコンディショナ:パッド・コンディショナ パッド・ドレッサーなどの各種のネーミングがある)を回転、揺動させて、パッドの表面に押し当て、パッド表面を改質(コンディショニング)して研磨レートの安定性を図る。半導体ウェハ

一の機能の確保・高度化・性能に有効で、生産性の向上にも、CMPコンディショナは不可欠な要素である。コンディショニング中に、ダイヤモンドが脱落し、パッドに突き刺さると、完成直近の高価なウェハーに壊滅的なマクロ・スクラッチ・ダメージが発生し、パッドの交換などなどに費やされる損害は計り知れない。そのために、ダイヤモンドの強固な接合技術が望まれている。また、従来技術による、市販のコンディショナは性能のバラツキが多く、コンディショナの取り換え時に、都度テスト研磨して使用条件を定める必要がある。このため個体差の少ない製品の信頼性が求められている。CMPコンディショナは消耗品であり、世界市場は年間 200 億円規模である。そのため、CMPコンディショナの低価格化が強く望まれている。

1-1-2 従来技術の問題点

コンディショナの、代表的な形状はφ100mm×t5mm程度の平坦な鋼材の上に、0.2mm程度の粒径を持つダイヤモンドが、多数接合されている。接合の方法として電着法(電解ニッケル・メッキで埋め込む)、活性ロー材でダイヤモンドをロー付けする方法が最も多いが、それぞれ一長一短がある。CMPコンディショナを使用する川下製造業者として、CMPマシン製造メーカー、半導体デバイス製造メーカーがある。コンディショナに求められる課題は、①ダイヤモンドの脱落が皆無になる強い接合力が必要②従来技術(電着法：ロー付け法)で作られたコンディショナでは、ダイヤモンドの数、配置が出来成りであり、精度の高い接合が困難であった③コンディショナのダイヤモンドの数、配置を再現性良く製造し、コンディショナの性能の信頼性が大幅に向上させる必要がある④コンディショナは消耗品で、低価格品が要求されている。本研究開発では、上記①～④の課題を、新規なダイヤモンド接合法を開発し、その技術をCMPコンディショナの開発に適応して、すべてを解決する。

従来技術によるダイヤモンド接合法の長短

電着法によるダイヤモンド接合

短所

- ①電着ニッケルとダイヤモンドの接合力が極めて弱くダイヤモンドが脱落しやすい
- ②ダイヤモンドのニッケル面からの突出し量が小さい 切れ味不良
- ③ダイヤモンドの頭が揃っていない。切れ味性能の信頼度が低い。国内で一部配列、頭揃えがあるが、電着の為①②は未解決
- ④メッキ時間が長い 高コスト

長所

接合時に、ダイヤモンドの移動は極めて少なく配列しやすい

ロー付け法によるダイヤモンド接合

短所

- ①溶融した活性ロー材でダイヤモンドを接合、接合時にダイヤモンドの頭の高さが揃わない、凝集しやすい

1-1-2 研究開発の目的

新規なダイヤモンド接合方法(長所のみを融合)

ダイヤモンドに強固に接着

ダイヤモンドをメッキ法で型枠に仮固定
 型枠のまま台金とダイヤモンドを活性ロー材で台金に固定。ロー付け時のダイヤモンドの移動がなく、**強く台金に接合**。**ダイヤモンドの位置精度・数が確定し砥粒の突出しが大きく、高機能で信頼性が高いCMPコンディショナ**ができる

1-1-3 研究開発の目標

電着・ロー付け技術を融合させ、高強度化、位置精度の向上、信頼性の向上が達成できる新規なダイヤモンド接合技術を開発し、半導体層間膜平坦化で多用される CMP プロセスでの、重要な構成要素である、ダイヤモンド CMP コンディ

1-3 成果概要

研究開発実施内容	年度目標	成果報告
【1-1】型枠の製法の確立	客先向けサンプルを製作し搬入。 海外向け廉価版の製造方法に着手しコスト低減を目指す。	大幅な製造コスト低減を達成するため、樹脂材料を使用し、無電解メッキで表面に電気伝導性を付与し、型枠製法の開発を完了 樹脂は金型成型が可能で、大判の樹脂板に型枠を多数成形し、バジ式で生産効率飛躍的に増大できるポテンシャルがある。 また、機械加工型枠をマザー材として 電鍍複製品を金型として作る事で大きくコスト低減可能 ABS樹脂 以外でも型枠として 選定可能な環境が整った
【1-2】型枠に電着でダイヤモンドを単粒仮固定方法の確立と生産		確実にダイヤモンドを析出させるために 吸引工程の前に 特殊な仮保持方法を開発した。
【1-3】台金に接合する方法の確立		低コスト化を思考する中で 台金をも樹脂化し、CMP コンディショナを制作する方法を開発した。
【2-1】市販ロー材の特性調査	ロー材の低温化 ロー材の組み合わせと歪分析	市販のロー材を使用して ダイヤモンドを接合する場合 ダイヤモンドの化学的接合温度(850℃)付近にて処理しなければならない。接合材の開発を行い 低温にてダイヤモンドを接合可能な接合材を開発した。
【2-2】ロー材の低温化研究		市販の特殊機能性はんだを使用して ダイヤモンドを接合できないか 検討する中で 超音波を援用して、ダイヤモンドを接合可能な条件等を開発した。
【2-3】市販ロー材の特性定量的評価	低コスト化	市販のダイヤモンド接合可能なハンダは高価な上 金属粗粒が多く含まれている。より均一性のよい はんだ成分を開発し 評価したところ 良好な結果を得た
【2-4】ロー付け変形の実測値を解析ソフトへフィードバック	ロー材の諸特性値をソフトに導入	解析モデルを使用して寿命に起因する因子を測定して疲労寿命・強度を評価する方法について

ドバック		研究を行った
【3】Hot Press 装置の製作と稼働	装置を稼働してコンディショナ製作	Hot Press 装置を使用して試作を行った。 開発端緒である活性ロー材による、新規なダイヤモンド接合方法を確立した。 次のステップとして、樹脂成型を検討するにあたり 低温度域の安定的な制御を行うために 低温域プレス装置を試作して導入した。
【4】自動検査測定装置の製作と運用	開発品の測定	開発品を構成する部材の検査、試作品の検査に運用した
【5-1】FEM 解析をするために基礎的な実験によるデータ収集	シミュレーション解析によるコンディショナの最適設計	CMP 評価装置にて検出される 加工データとダイヤモンド軌跡の関係について シミュレーションデータとの整合性を探った
【5-2】コンディショニングの機構の解析に基づき最適化設計と使用条件を決める。	ダイヤモンドのパッドに作用する軌跡の分析	コンディショナと使用条件・回転数・揺動速度等による、パッドのダイヤモンドの関わりを、全面均一になる条件を探った
【6-1】評価試験機の製作	評価方法の確立	評価試験機を 神戸大学海事科学研究科 野村研究室に搬入して ダイヤモンドの作用とパッド表面状態 キスラー測定器のデータの関係性を研究した
【6-2】評価試験機によるチェック	試験機の運用	評価機をチェックし精度向上に向けての改良と使用条件の研究をした
【7】サンプルの製造と客先評価	サンプル品製作	通常電着品において $\Phi 5\text{mm}$ 均等配置試作品を製作して 評価項目における測定を行い CMP 工程使用条件での違いに起因するパッド表面状態と研磨レートについて研究した 台座一体型 CMP コンディショナを製作して客先向けサンプル製作納入は未達
【8】超低価格 CMP コンディショナの製造方法の研究	型枠樹脂化の研究	型枠・台座材料を検討し、大判の薄板に多数の型枠を成形し、バジジ生産が可能となり、大幅な低価格化を図る基礎研究・試作に成功した 型枠の繰り返し使用が可能になれば更なる低価格化が可能になる。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社アイゼン 取締役 山下 保喜

Tel 0748-45-5100 Fax 0748-45-5111 E-mail yamashita-y@eisen.gr.jp

2章 本論 (計画等は 黒字 結果は 赤字にて記載)

【1】電着・ロー付け融合技術による新規接合技術の開発

【1-1】ダイヤモンドを一粒ずつ整列し、ダイヤモンドを立たせ固定するセラミック型枠の製作(Fig1)

型枠について

今回の研究開発において 型枠はCMPコンディショナ・ダイヤモンド・ピッチ と 型枠穴ピッチ とダイヤモンドの今回の研究テーマ・革新的CMPコンディショナの製造工程において工程も含め各方面の検討を必要とします。最適な型枠と

ダイヤモンドを収納する、先細り窪みを、マシニングセンターでセラミックを高精度加工するため、ダイヤモンドの数、配置、突出し量が再現性良く達成できる



チタニア型枠



カーボン型枠



マコール型枠



SUS型枠

テーマ1-① 型枠材質の考察 (2015年6月現在)

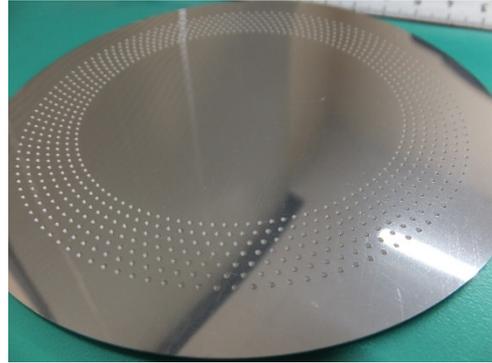
材質	加工性	電導性	コスト
SUS(エッジング)	◎	◎	◎
SUS(機械加工)	◎	◎	×
カーボン	◎	◎	△
チタニア ★	△	×	△
マコールガラス ★	△	○	△
フォレストライト ★	△	○	△

★セラミック材では 導電性付与 という難題あり

当初 セラミック材を型枠として製作…と計画立案し研究を進めたが 加工は可能との結果を得たが 加工コストが 予想より高く 加工の容易な型枠材質への変更をトライ&エラーで研究し、加工性が良好な材質を見つけ出した。



型枠写真



樹脂型枠への導電化



樹脂マザー型枠とニッケルメッキ複製品

【1-2】 型枠にダイヤモンドをセットし、ニッケルメッキ法でする方法の確立。 型枠に0.15~0.3mmの粒径のダイヤモンド砥粒を配置し(Fig2)、ポンプで吸引すると、ダイヤモンドはφ0.1mm細孔に尖った部分を立て付着(Fig3)する。吸引を続けて逆さまにして、細孔に付着した以外の余分なダイヤモンドを払い落とすと、ダイヤモンドが型枠中心部に一個ずつセットされた状態になる。この型枠をニッケルメッキ槽に静かに置き、型材を陰極としてメッキするとダイヤモンドがメッキにより固着(Fig4)される。

Fig 2

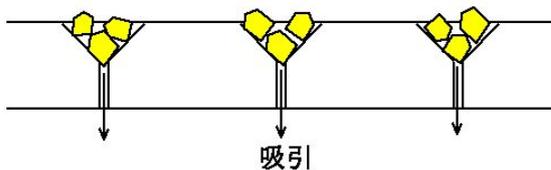
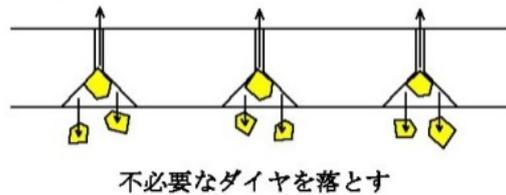


Fig 3



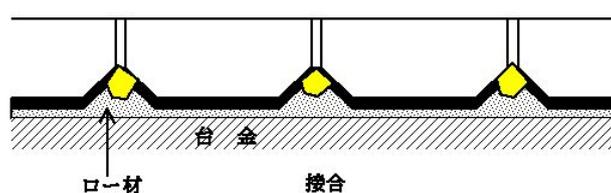
ダイヤモンドの吸引後 不必要なダイヤモンドを重力にて落下させる計画であったが 吸引をかけながら必要外砥粒を重力にて落下させる事はできなかった。ダイヤモンドを穴中に 1個毎 入れる事で代替えとした。真空吸引～メッキ液中吸引へ 吸引方法を変更する際の一瞬の時間でダイヤモンドが液中に 浮いてくる現象が見られ 対策の検討が必要になった。ダイヤモンドの処理方法の変更で問題をクリアできた。

【1-3】ダイヤモンドをロー材で固定し、台金に接着する技術の確立

ダイヤモンドがニッケルメッキで仮付けされた型枠と、CMPコンディショナの基盤となる SUS304などでできた台金とダイヤモンドを、強く化学的に結合する活性ロー材で接合(Fig5)する。ダイヤモンドは電着法で仮固定し、その後ロー付けされるため、電着法単独より強固に接合されており、コンディショナ表面より脱落する心配がない。この電着・ロー付け融合技術より、それぞれの技術の課題が一掃されたことになる。

ダイヤモンドを型枠で、所定の数と配列、ダイヤモンドは先の尖った部分を突出し頭の高さを揃え、ロー材によって台金と強固に接合している。かつメッキで固定型枠はセラミックなどの加工しやすく、ニッケルメッキと付着せず、再利用でき、最適セラミックの選択によってさらに低コストかが可能となる。型枠はNCマシンで自由な形状に迅速に安く加工できるため、コンディショナのダイヤモンド密度、配置方法が任意にできる。このNCデータは後の測定器の自動計測とリンクできるため検査工程のコストが大幅に削減できる。

Fig 5



活性ロー材は ダイヤモンドと化学的に接合できて 接合力が強いと考えたが 研究の中で 処理温度が 850℃ 以上で処理し ダイヤモンドの炭化のリスクと接合界面等において Tirich 相 という 接合強度を低下させる相が 発生する事がわかり 低温処理にて ダイヤモンドを接合可能な接合材の開発に成功した。
(大阪府立産業技術総合研究所 武村)

Ti rich相の特徴

2Ti

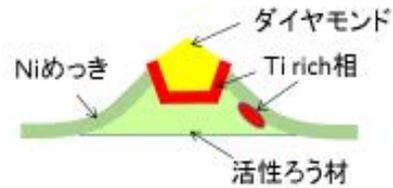


860°C



890°C

Ti rich相 Ag少-Cu
 → Niが溶解しやすい
 → 密度が低い(浮上する)
 → 気泡が多い



◎ ダイヤモンド直下部で気泡が発生
 → 接合強度不足??

オリジナル 接合材の開発

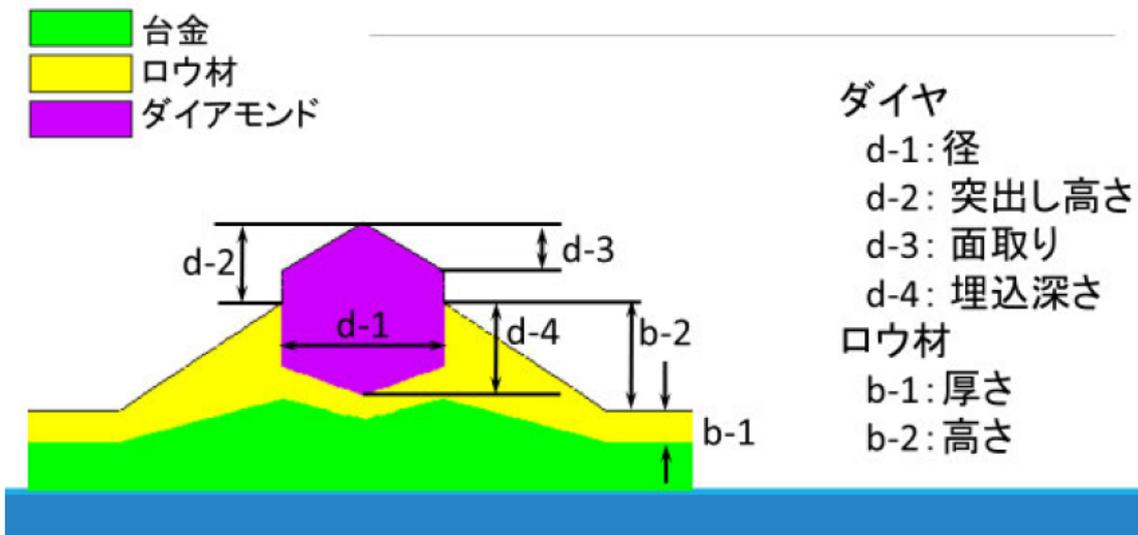


黒鉛板(250°C)上で
加熱

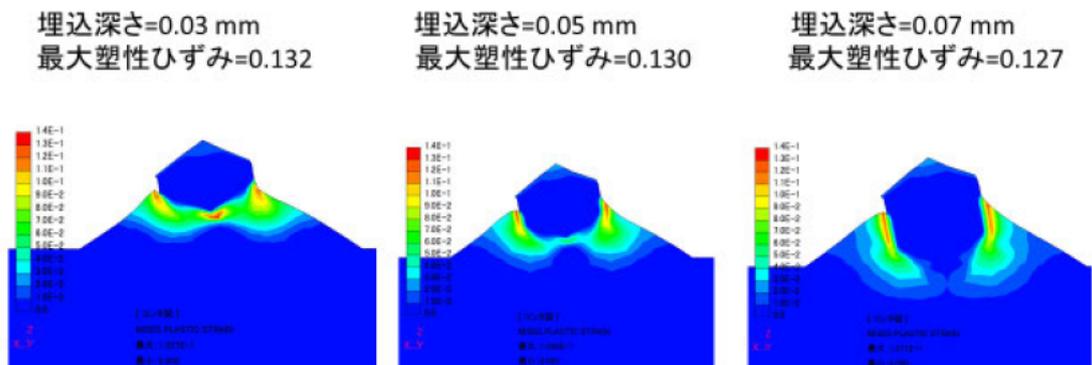
【2】ダイヤモンド接合ロー材の選択と接合後の歪を最小化する技術の確立

CMP コンディショニング時に X Y 方向にランダムあるいは周期的に変動する荷重下でのダイヤモンド埋め込み部の疲労寿命を概算する手法を提案しこれを
 実行するためのプログラムを開発した。(大阪大学 村川 堤)

ダイヤモンド埋込状況が塑性強度に及ぼす影響



埋込深さが塑性ひずみ分布に及ぼす影響 (ダイヤモンド径=0.1 mm, 埋込深さ=0.03, 0.05, 0.07 mm)



【3】ダイヤモンドロー付けと合金接合を可能にする真空・ガス雰囲気 Hot Press 装置の製作



ホットプレス装置の 設計打ち合わせ
 等を行い オリジナル 高温真空ホッ
 トプレス装置を 製作・導入・運用し
 た
 (株アイゼン 山下 村田 山田)

【4】コンディショナの測定装置の製作と製品評価方法の検討

【4-1】コンディショナ測定装置の構想設計

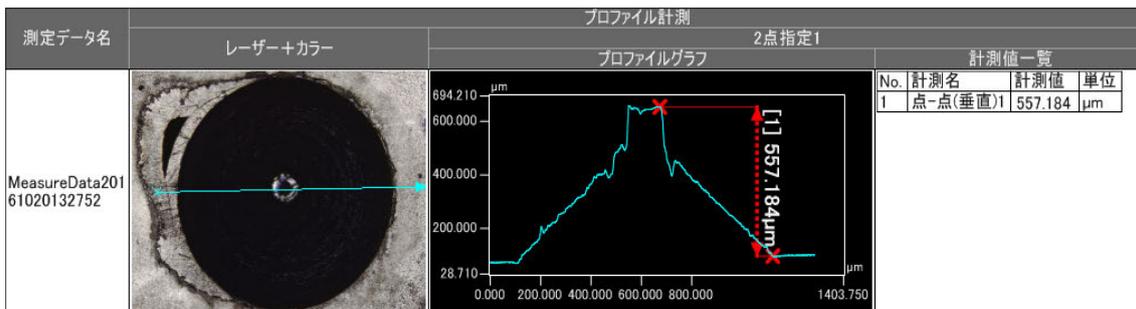
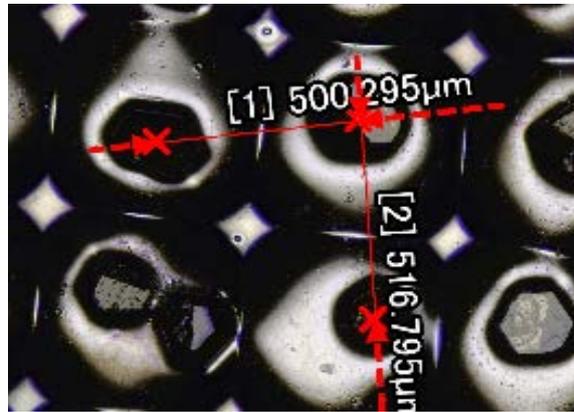
レーザ顕微鏡測定を改善し自動化を達成する

【4-2】製作したコンディショナの測定

試作したコンディショナの検査方法を、決定する。アイゼン保有の SEM に 3D 観察ソフトを購入し、測定能力のアップを図り、接合部の拡散を測定し、接合強度も保証する。

【4-3】データの収集と解析

試作したコンディショナの検査結果を製造工程にフィードバックし、より高品質化を目指す。多くのデータを収集し、量産に向けた統計的な品質管理ができる、下地を構築する。

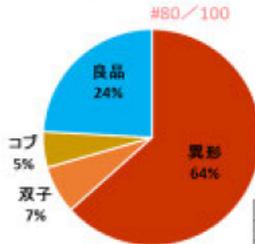
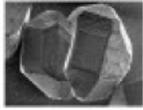


レーザー自動測定機にて 短時間に ダイヤモンド位置・高さ等を測定可能になった
3D SEM を使用して ダイヤモンドの形状・アスペクト比を測定して
最適な ダイヤモンドの選定を行った。 (株)アイゼン 山下 村田 北村)

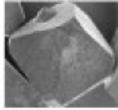
テーマ1-② ダイヤモンド選定 (3種)の形状変化

ダイヤモンドの形状

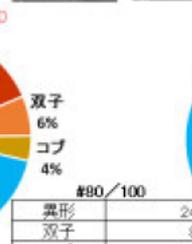
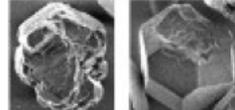
双子石
比較的大きな結晶が2
個固着している



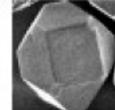
コブ石
単結晶の面に小さな
結晶が付着



異形石
結晶性の崩れた石、
または割れた石



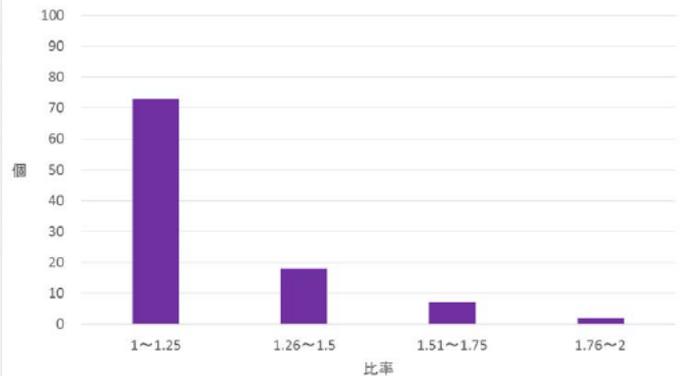
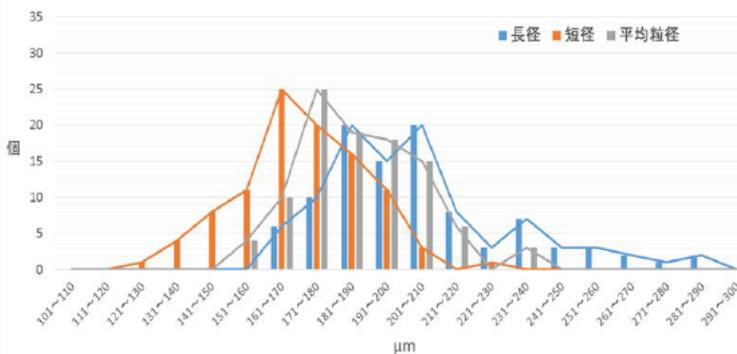
良品
結晶性の良い
単結晶(6~8面体)



形状	#80/100
異形	71
双子	8
コブ	6
良品	27
合計	112

形状	#80/100
異形	24
双子	8
コブ	5
良品	92
合計	129

形状	#80/100
異形	17
双子	6
コブ	1
良品	103
合計	127



【5】CMPコンディショナの패드改質(コンディショニング)のメカニズムを、コンピュータによるシミュレーション解析し、最適設計をおこなう

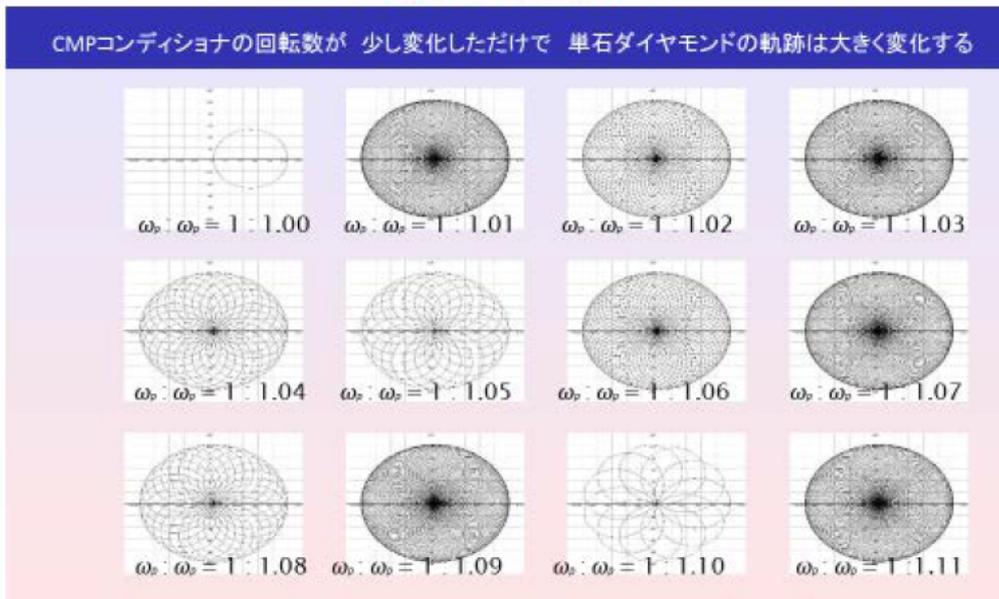
【5-1】高性能シミュレーション・ソフトを使用して、パッドのコンディショニングのメカニズムを解析する。パッドは粘弾性体であり、解析は困難が予測される。元阪大の藤原順介アドバイザーと神戸大学野村昌孝准教授のタッグの協力で本質に迫る。過去の文献で、コンディショニングの基礎的なメカニズムについて研究された例は皆無に近い。

【5-2】CMPコンディショナの最適化の設計

【5-1】【5-2】の技術の高度化することによって、パッドの平坦化性が向上するCMPコンディショナの設計を可能にし、その結果品質が安定し、ユーザのニーズである③段取り回数・時間の削減④加工時間設定の容易化による低コスト化、進化の急な新しい層間膜にも対応できる。

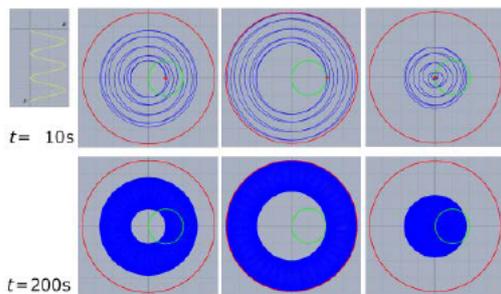
CMP コンディショニング条件によって ダイヤモンドの作用（軌跡）変化を証明して コンディショニングの提言を行った （神戸大学 野村）

シミュレーション解析の一例

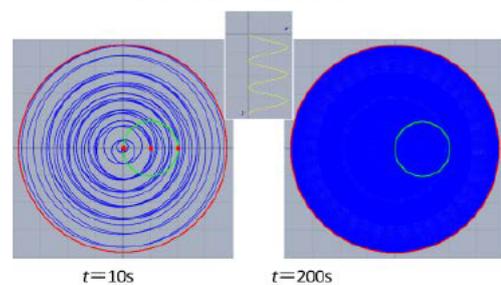


8

砥粒初期位置による軌跡



砥粒軌跡(3点:正弦波)



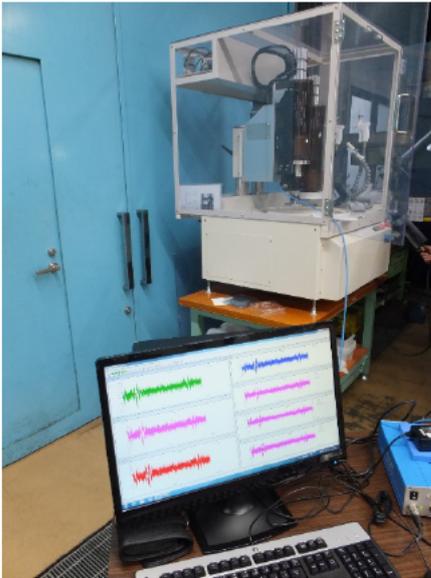
【6】CMPコンディショナの評価試験

【6-1】評価実験機の製作

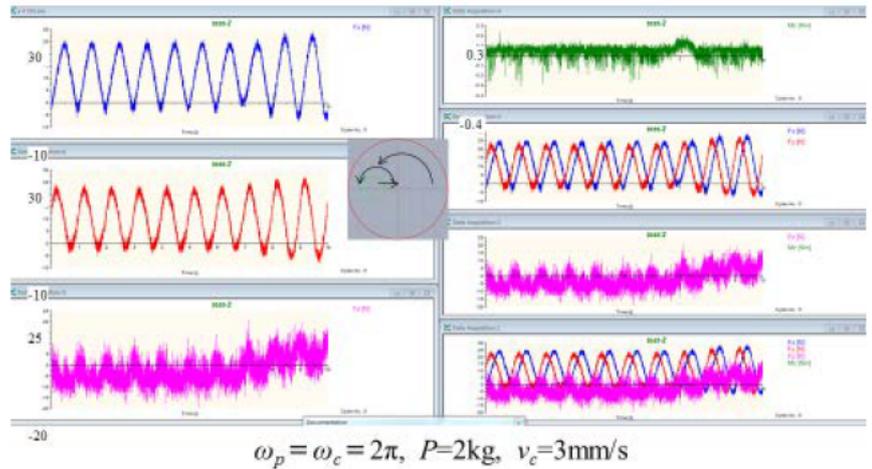
CMP コンディショナの、パッドコンディショニングにおける、メカニズムの定量的評価法として、4成分回転式動力計を購入し、CMP マシンの模擬試験機に設置。トルク、XYZ 成分の分力を同時測定できる装置を設計・製作し導入した。

【6-2】製作したコンディショナの実験機による評価

評価実験機を使って、製作したコンディショナの性能、経時変化を実測する。



加工抵抗:通常運転



CMP 評価装置として 4軸動力計付 CMP 装置を 設計・打ち合わせ・搬入・運用を行い 基礎データの収集を行いました (神戸大学 野村 (株)アイゼン 山下 村田 田中) 装置導入後 基礎データの収集を目的に使用していく中で 装置に致命的な欠陥が 表面化しました。 世界で初めて製作されただろう 当装置ですので 予見できなかった欠陥と認識いたしまして 欠陥の修復を行いました。

欠陥というのは 4軸動力計を設置するために 軸の突出し長さが大きく剛性不足に起因して CMPコンディショナが 一定条件にて びびる という現象でした。

対策処理を行いまして 欠陥は改善されました。

【7】サンプルの製造と客先評価

【7-1】客先サンプルの製作

【7-2】客先評価をもらう

アドバイザー企業（㈱荏原製作所）において客先評価をいただく計画でしたが、共同体内での CMP 評価装置での評価方法等の立案まで到達できず、客先評価まで 至っておりません。

CMP 工程は門外不出の技術であり、川下企業の使用条件・評価方法等情報を得る事は できない中、共同体内での評価結果が出たなら CMP 装置 実機での評価をいただく（確約）を得ております。

【8】超低価格 CMP コンディショナの製造方法の研究

【8-1】型枠の樹脂化の研究 【1】～【7】の研究開発により、高機能を有するダイヤの数、配置など仕様が確定した

後型枠を樹脂化して、超低価格量産化の基礎研究をする。

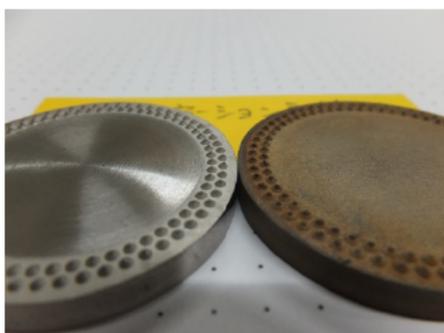
【8-2】バッチ式生産による量産化の研究 板状の樹脂板に多数の型枠を成形し、バッチ生産を研究する

【8-3】連続式生産による量産化の研究 帯状の樹脂板に型枠を成形し、連続生産の可能性を研究する

従来工法では SUS 製台金（台座）上にダイヤモンドを接合して CMP コンディショナを製作する… 研究を進める中で（低コスト化を考える上で）SUS 台座のコストを削減できないか？…との思考に至り、台座一体型の製法を考案して 研究を進めた。

ダイヤモンドとの接合強度を確保して 安価な CMP コンディショナを製造するために 樹脂台座一体製法を考案した。

最終的な形にはできていないが 金属台座一体製法は成功し 樹脂金属混合台座一体製法を現在研究継続中。



金属台座一体製法 試作品



金属台座一体製法 型枠と試作品

最終章 全体総括

株式会社アイゼンの特許申請中の新規なアイデアに基づいて、サポインに応募採択されて3年にわたり研究開発を続けた。

本研究のコンセプトは、電着・ロー付け技術を融合させ、高強度化、位置精度の向上、信頼性の向上が達成できる新規なダイヤモンド接合技術を開発し、半導体層間膜平坦化で多用されるCMPプロセスでの、重要な構成要素である、ダイヤモンドCMPコンディショナの製造に適応し、高度なシミュレーションソフトによって最適な設計・使用条件を確立し、革新的な高機能・低価格なCMPコンディショナを開発する。

①新規なダイヤモンド接合技術とは、ダイヤモンドを定位置と定高さで揃えるために、型枠を製作し、電着Niメッキによる電着法で型枠にダイヤモンドを固定し、続いて活性ロー材によって台金に接合する。この、**新規な接合法は思惑通りの完成度を示し、目的を達成できた。**

②ダイヤモンドを任意の配置で任意の高さバラツキで製造できるため、最適な設計は、コンピュータ解析でおこなった。**コンピュータ解析の妥当性を確認した。組み合わせの数が多いため、方向性は確認できるも、ベストの設計完了には至っていない。**

③結果の検証のために、CMP装置にキスラー社で開発された4軸(トルク・X・Y・Z)の動力を組み合わせ、独自のCMP評価装置を設計製作。

本CMP評価装置を使って、CMP加工し4軸データを解析することにより、最適なCMPコンディショナの設計、使用条件等々に反映できることが判った。

④新規なCMPコンディショナの製法の開発を完了できたが、未だベストがどうか確定できず、客先への評価サンプルを提出するまでに至らなかった。

⑤低価格・量産化が可能な画期的な型枠製造方法の開発の見通しがつき、今後この製造方法を確立し事業化を推進する。

サポインの研究開発機関が終了するも、サポイン事業アドバイザーでもあり、世界の2大CMP装置製造メーカーである荏原製作所に客先ご評価を頂けるまで、(株)アイゼンで継続研究を続ける。