

硬ぜい材料ウェーハ研削盤 DDT832 の開発

Development of Grinding Machine DDT832 for Wafers of Hard and Brittle Materials

小倉良延 Y. OGURA 吉川 亘 W. YOSHIKAWA 寺島佑弥 Y. TERASHIMA

A dual-disc precision surface grinding machine, DDT832, was developed for hard and brittle material wafers. Despite its independent dual-spindle design, the T-type column structure provides both increased grinding stiffness and a reduced installation footprint, which allows for integration of rough and finish grinding processes. In addition, machine-optimized vitrified grinding wheels offer low wheel wear and stable surface roughness under continuous grinding conditions. These characteristics result in high-efficiency and high-accuracy machining performance. The machine is also designed to improve energy efficiency and reduce CO2 emissions during operation.

Key Words: dual-disc precision surface grinder, hard and brittle material wafer, T-type column, vitrified grinding wheels

1. はじめに

脱炭素社会の実現に向けた国際的な取り組みが進展する中、エネルギー変換効率に優れるワイドバンドギャップ半導体の量産が進められている。代表的な材料である炭化けい素 (SiC) や窒化ガリウム (GaN) は、高耐圧・低損失などの優れた特性を有する一方、硬くてもろい難削材でもある。これらの材料は半導体チップに加工される前の段階ではウェーハとよばれ、厚さ 1 ミリに満たない薄板状の円盤である。ウェーハの製造プロセスには、切断、面取り、平坦化、洗浄などの工程があり、研削・研磨は平坦化工程に含まれる。

硬ぜい材料であるウェーハの研削工程では、加工能率を改善して単位時間当たりの処理能力 (スループット) を高めるとともに加工精度を向上させて後工程における研磨量を低減することが求められる。さらに、加工コスト削減の観点から砥石摩耗の低減および工具交換頻度の抑制も重要である。

従来の砥石スピンドル 1 基構成による研削盤では、粗研削工程と仕上げ研削工程を異なる研削盤で実施する、あるいは砥石交換によって対応することが一般的である。しかし、この手法では設備台数の増加や設置面積の拡大にくわえ、段取り替え時間が増加するため、生産性向上の制約となる。また、量産を前提とした連続研削では、加工状態の安定化および砥石寿命の確保が不可欠で

ある。そのため、研削盤構造および加工技術の両面を最適化する必要がある。

本報では、これらの課題に対応するために開発した平面研削盤 DDT832 (図 1) を紹介する。本研削盤は、粗研削工程と仕上げ研削工程を 1 台に集約した砥石スピンドル 2 基構成を採用するとともに装置特性に適した研削砥石を適用している。さらに、ウェーハの量産に不可欠な生産工程の自動化および環境負荷低減への取り組みについて述べる。



図 1 DDT832 全体図
DDT832 Overview

2. 2頭平面研削盤の概要

2頭平面研削盤とは、1台の研削盤に2基の砥石スピンドルを備え、複数の研削工程を同時または連続して実施可能な平面研削装置である。本装置は、主に粗研削工程と仕上げ研削工程の集約を目的としている。これにより、加工能率の向上、加工精度の安定化および小型化を同時に実現する。

本装置は、図2に示すとおり、インデックステーブル上に配置された3台のチャックに工作物を搭載し、テーブルの回転位置決め動作により粗研削位置および仕上げ研削位置へ搬送する。各位置の上方には独立して制御できる砥石スピンドルを配置し、一方で粗研削、他方で仕上げ研削を実施する。両スピンドルは、研削荷重および熱変位を考慮してコラム上に配置している。これにより、研削加工時の構造変位を抑制し、安定した加工精度を確保する。また、2工程を並行して実施することでスループットを向上させている。

さらに、本装置では非研削位置で工作物を着脱することで非加工時間を短縮するとともにカセット間搬送方式による枚葉加工にも対応している。ウェーハは装置投入から排出まで一貫して自動搬送され、研削後のウェーハ

は装置内の洗浄工程を経てカセットに収容される。このため、無人での自動連続運転が可能であり、量産に適した研削盤となっている。

3. DDT832の開発方針

冒頭で述べたとおり、砥石スピンドル1基構成の平面研削盤は量産ライン全体の生産性およびコスト競争力に課題を有している。一方、砥石スピンドル2基構成ではスピンドルの大型化に伴う装置全体の大型化や、偏荷重による構造変位の増大が課題となる。

そこで本開発では、高負荷研削に対応可能な高出力スピンドルを搭載しつつ、装置の小型化および高剛性化の両立を目指した。また、単一要素の性能向上のみに依存することなく、装置構造、研削機構および加工技術の3要素を総合的に最適化することを基本コンセプトとした。

装置構造としては、高出力スピンドルを2基搭載するとともに粗研削工程と仕上げ研削工程で求められる特性の違いに対応するため、各工程に適したスピンドル構成を採用した。これにより、高剛性化と小型化の両立を図った。さらに、連続研削時の加工安定性および砥石寿命の向上を目的として、研削プロセスを最適化した。

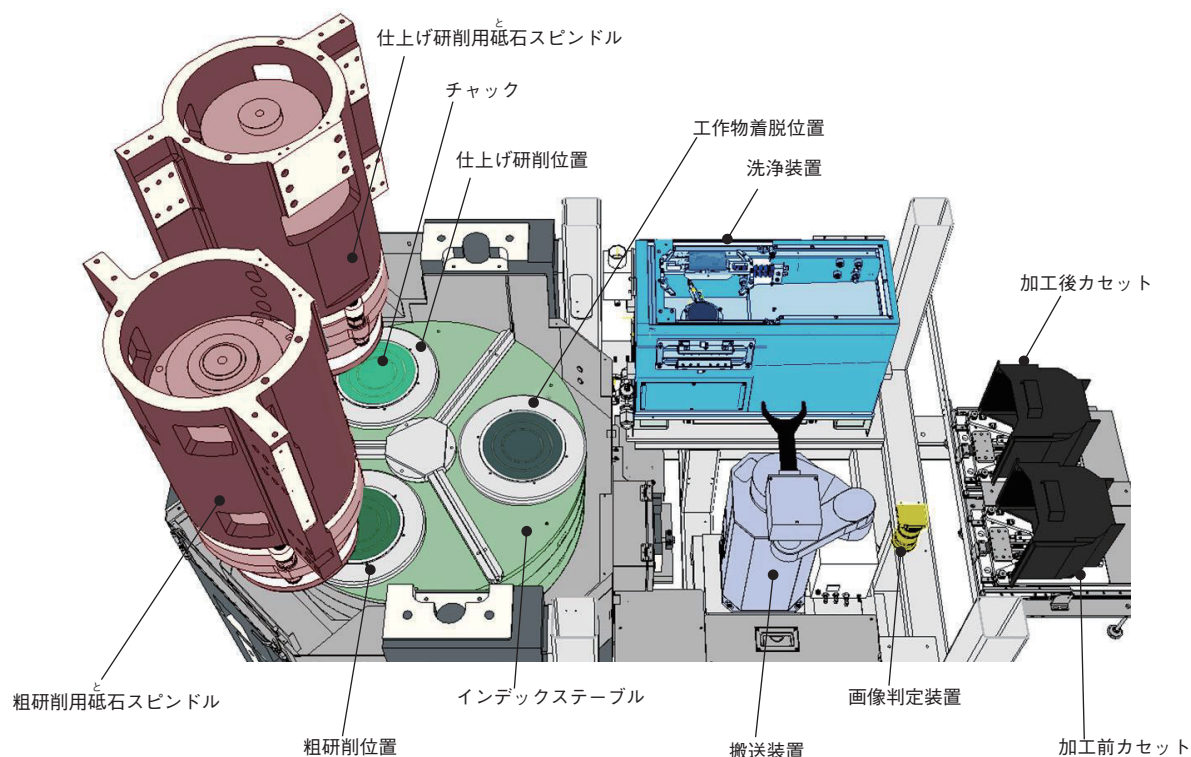


図2 2頭平面研削盤の全体レイアウト
Overall layout of surface grinder with dual disc

4. DDT832 の特長

4.1 T 型コラムの考案

2 頭平面研削盤ではスピンドルの質量による偏荷重が生じやすい。そのため、スピンドルの自重および研削抵抗による構造変位の抑制が重要となる。

スピンドルを横並びに配置した並列型コラムの構造変位を評価するため、変位解析を実施した。重力のみを考慮した条件で解析した結果、図3に示すとおりコラム上部からスピンドルにかけて $3 \sim 5 \mu\text{m}$ の変位が生じた。また、図4に示す研削点（赤色マーク）に $1\,000\text{ N}$ の法線方向荷重を付加した条件では、自重により変位したスピンドルが反対方向へ $1 \sim 2 \mu\text{m}$ 変位した。これらの結果から、並列型コラム構造では、自重および法線荷重に対し十分な剛性の確保が困難であると判断した。

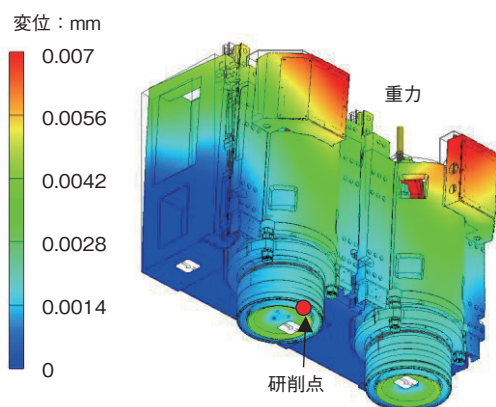


図3 並列型コラムの変位解析（自重のみ）
Displacement analysis of side-by-side column configuration (self-weight only)

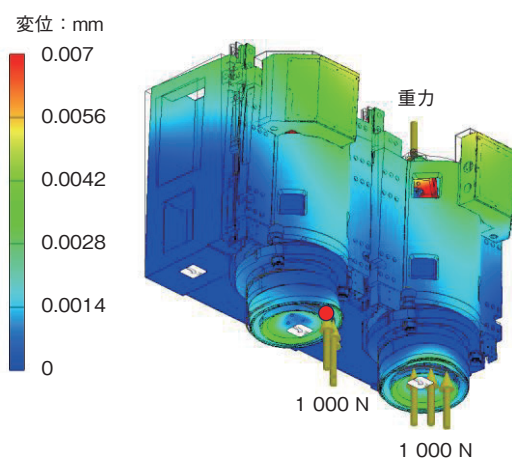


図4 並列型コラムの変位解析（法線方向の荷重付加）
Displacement analysis of side-by-side column configuration (Load applied in normal direction)

さらに、横並び配置ではスピンドル間距離の増加に伴い、工作物を保持するインデックステーブルの大径化が必要となる。その結果、装置コストが増加するだけでなく、テーブル剛性の低下によって構造変位量が増大する。そこで、コラム形状やスピンドル配置を見直し、図5に示す T 型コラムを考案した。本構造では T 字形状のコラムの内側に 2 基のスピンドルを配置することにより、スピンドル荷重をコラム全体に分散させ、局所的な変位を抑制できる。

さらに、研削時の法線荷重に対する剛性を向上させるため、研削点とコラム重心との距離を 170 mm に設計した。この寸法は、図6に示す並列型コラムの 370 mm と比較して 200 mm 短い。

T 型コラムについて、並列型コラムと同条件で変位解析を実施した。図7に自重のみを作用させた場合の結果を、図8に研削点（赤色マーク）へ $1\,000\text{ N}$ の法線方向荷重を付加した場合の結果を示す。いずれの条件においても、コラムとスピンドルの変位は極めて少なく、

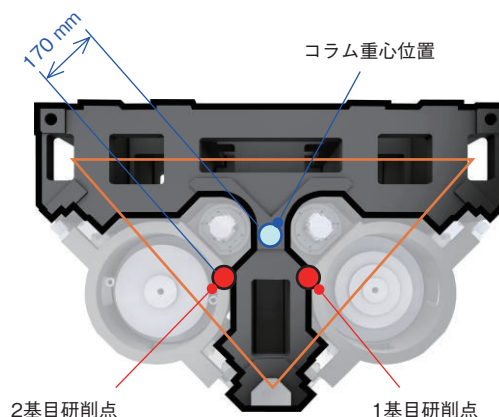


図5 T 型コラム
T-type column

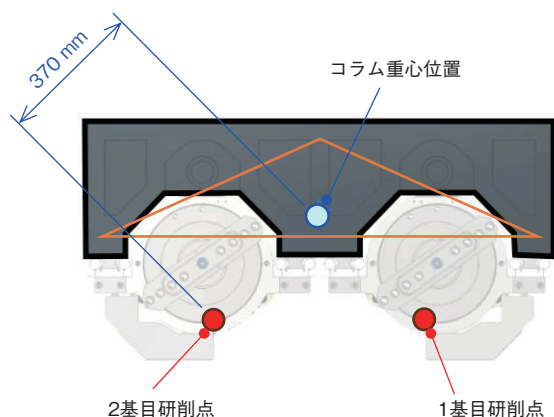


図6 並列型コラム
Side-by-side column

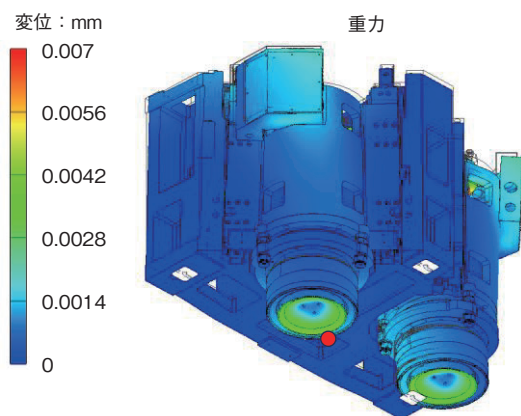


図7 T型コラムの変位解析（自重のみ）
Displacement analysis of T-type column
(self-weight only)

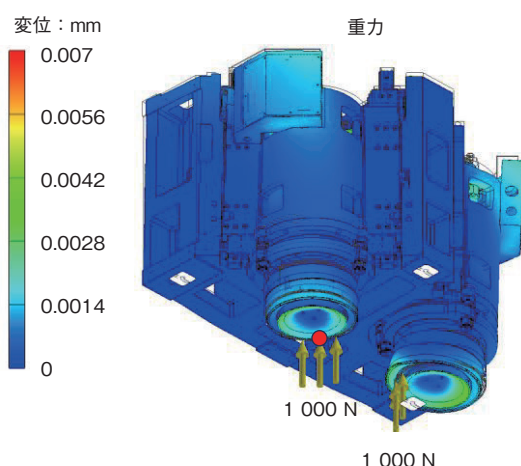


図8 T型コラムの変位解析（法線方向の荷重付加）
Displacement analysis of T-type column
(Load applied in normal direction)

高い剛性を有することが確認された。

また、2基のスピンドルを斜め方向に配置することで装置幅を抑制でき、インデックステーブルの小型化も可能となる。本構造により、設置幅 1 300 mm の目標寸法を達成するとともに高剛性と小型化を両立した。

4.2 高トルクススピンドルの開発

炭化けい素（SiC）および窒化ガリウム（GaN）に代表される硬ぜい材料ウェーハの研削加工では、砥石と工作物の接触部において、材料の硬さに起因した大きな法線方向荷重が作用する。そのため、砥粒を工作物へ食い込ませるには、低回転速度でも十分な切込みトルクを安定的に発生できるスピンドルが必要となる。特に粗研削工程では、高い除去能率を確保するため、高負荷条件下においても十分なトルクを供給可能な駆動性能が求められる。

る。

一方、仕上げ研削工程では、切込み量は小さいものの、回転精度および振動特性が加工面品位に大きく影響する。このように、粗研削工程と仕上げ研削工程では要求されるスピンドル特性が異なる。そこで本装置では、各工程に適した仕様のスピンドルを搭載した。

粗研削用スピンドルには、高荷重条件下での支持剛性を重視し、転がり軸受構造を採用した。転がり軸受は大きな法線方向荷重に対して軸倒れを抑制できるため、高負荷の切込み条件における研削加工に適している。一方、仕上げ研削用スピンドルには回転精度および低振動特性に優れたエア軸受を採用し、表面粗さの向上と微小除去領域における加工安定化を図った。

両スピンドルには高出力モーターを内蔵し、低速回転域から高速回転域まで安定したトルク特性を維持できる駆動系を採用した。また、送り機構に高精度ボールねじを用いることで微小送り条件における追従性および再現性を確保した。

さらに、カウンターバランス機構を設けることでスピンドル質量による負荷を低減した。これにより、長時間の連続研削運転においても安定した切込み制御が可能となった。これらの高トルクススピンドルは、4.1 節で述べた T 型コラムで支持されており、高負荷時の振動および構造変位を抑制することで各工程ごとに安定した研削性能を実現している。

4.3 砥石技術と自生発刃の安定促進

硬ぜい材料ウェーハの研削加工では、研削盤構造およびスピンドル性能にくわえ、研削砥石の特性が加工の安定性とコストに影響する。特に、量産工程における連続研削では、研削砥石の切れ味を維持しつつ、砥石摩耗の抑制が重要な技術課題となる。

半導体ウェーハの研削工程では、研削砥石交換時に振れ補正のため初期ドレッシングを行うが、その後は砥石層が使用限界に達するまでドレッシングせずに連続使用される場合が多い。このため、研削過程においては、砥粒切れ刃が自動的に更新される自生発刃を維持する必要がある。

自生発刃が不十分な場合、砥石表面の目詰まりによって研削抵抗が増大し、加工面品質が低下する。一方、自生発刃が過度に進行した場合は砥粒の脱落が促進され、砥石摩耗量が増加する。したがって、研削砥石には自生発刃と砥粒保持との適切な両立が求められる。

本開発では、^と砥粒、結合剤および気孔構造に着目し、本装置の特性に合わせて研削^と砥石の仕様を最適化した(図9)。結合剤には高強度ビトリファイドボンドを採用し、^と砥粒保持力を高めて^と砥粒脱落を抑制している。さらに、^と砥粒径および気孔分布を調整することで^と砥粒先端部に生じる応力集中を利用し、自生発刃を継続的に発現させる構成とした。

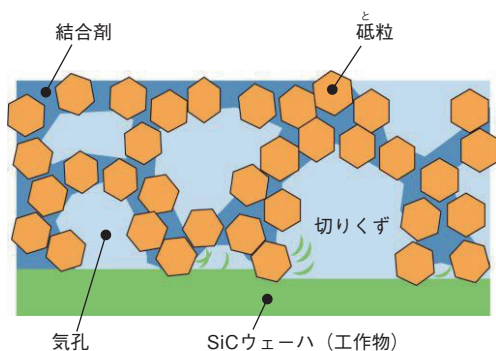


図9 ^と砥石模式図
Schematic diagram of grinding wheel

本装置は高剛性のT型コラム構造および高トルクスピンドルを備えており、研削時の荷重変動が抑制できる。これにより、^と砥粒に作用する力が安定し、自生発刃挙動のばらつきが低減される。粗研削工程では、高除去能率と低摩耗を両立する研削^と砥石仕様を適用した。一方、仕上げ研削工程では、比較的大きな^と砥粒径であっても安定した表面粗さが得られる構成とした。

以上の研削^と砥石技術により、連続研削時における研削抵抗および表面粗さの変動を抑制し、低摩耗かつ高品質な研削加工を実現した。

5. 環境負荷低減への取り組み

5.1 カーボンニュートラルへの取り組み

近年、製造業においては、環境負荷低減への対応が重要な技術課題となっている。半導体製造分野では、装置の高出力化および大型化に伴い、エネルギー消費量が増加しており、消費電力量およびユーティリティ消費量を抑制する研削盤が求められている。

DDT832の開発においては、高能率かつ高精度な研削性能とともに装置稼働時のエネルギー効率向上および二酸化炭素排出量の低減を設計初期段階から考慮した。

5.2 エネルギーの可視化

装置運用段階の省エネルギー化を支援するため、DDT832では消費電力量および圧縮空気使用量をリアルタイムで把握できるエネルギーモニター機能を備えている。本機能は、装置稼働中のエネルギー使用量を計測し、二酸化炭素排出量に換算して表示する。

本機能により、消費電力量およびエアー消費量の積算値を時間、日、週、月単位で表示する。この結果、オペレーターおよび生産技術者は、加工条件や稼働率の変化に伴うエネルギー使用傾向を継続的に把握できる。また、待機状態における無負荷運転や過剰なユーティリティ使用を認識できるため、データに基づいて運用条件の見直しや、省エネルギー施策の立案が可能となる。本機能は装置単体の省エネルギー化だけでなく、生産ライン全体におけるエネルギー管理の高度化にも寄与する。

5.3 高能率化による間接的な環境負荷低減

DDT832は、^と砥石スピンドル2基構成による研削工程の集約および連続研削運用の適用により、スループット向上を実現した。これにより、ウェーハ1枚当たりの加工時間が短縮され、1製品当たり消費電力量の低減および環境負荷低減に寄与する。

また、研削^と砥石摩耗を抑制した加工プロセスを採用することで研削^と砥石の交換頻度を低減した。これにより、^と砥石の製造および廃棄に伴う資源消費も抑制できる。

さらに、加工の安定化によって不良率の低減および再加工の抑制が可能となる。これらの効果は、生産工程全体におけるエネルギー使用量および資源使用量の低減につながる。

以上のようにDDT832で実現した高能率加工技術は、加工性能向上と環境負荷低減を両立している。

6. おわりに

本報では、硬ぜい材料ウェーハの量産研削を目的として開発した2頭平面研削盤DDT832について紹介した。DDT832は、T型コラム構造と、粗研削・仕上げ研削に最適化した2基のスピンドル構成により、高剛性、小型化、高能率・高精度加工を同時に実現した。さらに、環境負荷低減にも寄与することを示した。硬ぜい材料ウェーハ量産工程において、今後もDDT832によって有効なソリューションを提供する。

筆 者



小倉良延*
Y. OGURA



吉川 亘*
W. YOSHIKAWA



寺島佑弥*
Y. TERASHIMA

* 株式会社ジェイテクトマシシステム
先行開発部