

シリコンウェーハの両面研磨加工における ウェーハ回転挙動の解明

機械工学専攻 機械工学コース

精密加工学領域 榎本・杉原研究室 瀬口 悠太

1. 緒言

両面研磨加工（図1）は、互いに逆方向に回転する上下の研磨パッドで工作物を挟み込み、一定の圧力を加えながら相対運動させることで研磨液によって工作物表面を磨く加工法である。本加工法は、効率よく高平滑な鏡面を得ることができるため、半導体デバイスの基板材料であるシリコンウェーハ（以降、ウェーハ）の表面仕上げ工程で使用されている。半導体デバイスの高集積化および高生産性化に対する要求にともない、ウェーハにはさらなる平坦性の向上が求められており、両面研磨加工においてウェーハの平坦性を悪化させないことが重要な課題となっている。

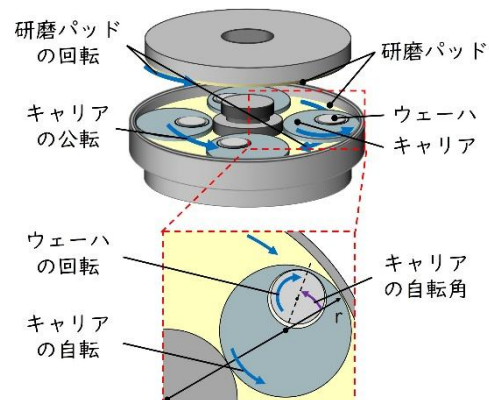
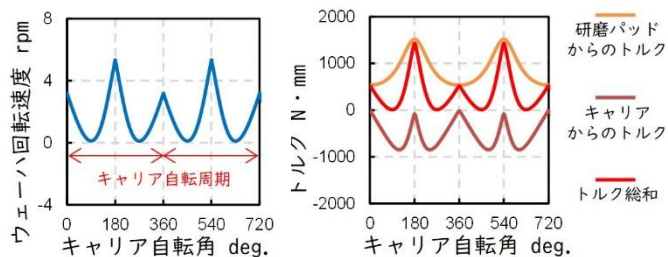


図1：両面研磨加工

しかし、両面研磨加工では加工後にウェーハがテーパ形状となり平坦性が悪化することが知られており、テーパ形状は加工中にキャリアと呼ばれる保持具の穴の中でウェーハの回転がスムーズに起こらない場合に形成される。そのため、加工後のウェーハのテーパ形状抑制には「加工中のキャリアの穴の中でのウェーハ回転挙動」（以降、ウェーハ回転挙動）の理解が不可欠である。これまでに数理モデルを用いた研究が行われているが、加工は非常に狭い空間で行われるため直接観察することが困難であり、ウェーハ回転挙動には不明な点が多い。本研究では、ウェーハ回転挙動の運動力学的分析を行うとともに連続的に観察可能な手法を構築することにより、ウェーハ回転挙動を特徴づける要因を検討した[1]。

2. ウェーハ回転挙動の運動力学的分析

ウェーハ回転挙動を理解するために、加工中にウェーハが受ける力およびトルクについて検討する。ウェーハは上下の研磨パッドおよびキャリアから摩擦力を受けており、上下の研磨パッドからの摩擦力によるトルクはウェーハの回転を促す方向、キャリアからの摩擦力によるトルクはウェーハの回転を妨げる方向に作用する。ウェーハの回転速度はこれらのトルクの和から計算でき、図2に一般的な加工条件におけるキャリアの自転に対するウェーハの回転速度と、各トルクの計算結果を示す。なお、研磨パッドからのトルクはウェーハ面内および上下の合計である。図2(a)からウェーハ回転速度は周期的に変化しており、その周期はキャリアの自転周期と一致することがわかる。また、図2(b)からウェーハ回転速度の推移はウェーハが受けるトルクの総和の推移と概ね一致しており、研磨パッドからのトルクの大きさがキャリアからのトルクの大きさより大きい場合にウェーハが回転するといえる。



(a) ウェーハ回転速度

(b) トルク

図2：ウェーハ回転速度およびトルクの計算結果

図3から、研磨パッドから受ける摩擦力の作用方向はウェーハ面内および上下で異なる

ることがわかる。また、研磨パッドから受ける摩擦力の作用方向はキャリアの自転によって変化する。ここで、研磨パッドからのトルクの大きさは、主にウェーハ面内における研磨パッドから受ける摩擦力によるトルクの打ち消し合いの程度に依存していると考えられる。一方、キャリアからのトルクの大きさは、上下の研磨パッドから受ける摩擦力の総和の大きさに比例するため、主にウェーハの上下における研磨パッドから受ける摩擦力の打ち消し合いの程度に依存していると考えられる。

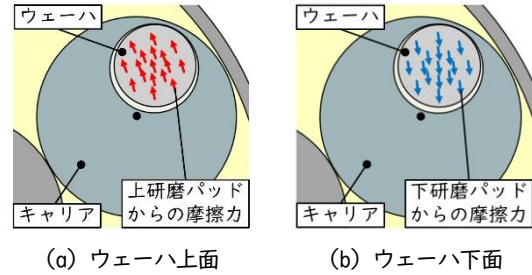


図3：研磨パッドから受ける摩擦力の作用方向

3. ウェーハ回転挙動の観察実験

ウェーハが研磨パッドから受ける摩擦力のウェーハ面内および上下における打ち消し合いの程度がウェーハ回転挙動に与える影響を確認するために、ウェーハの上下でウェーハ-研磨パッド間の摩擦係数が同じ条件と異なる条件の2種類の条件でウェーハ回転挙動の観察実験を行った。本研究では、2枚の単結晶シリコン製円形プレートの上に硬質アクリル発泡体を挟んだ模擬ウェーハを作製し、側面につけたマークの動きを追跡することでウェーハ回転挙動の観察を行った。また、ウェーハの上下でウェーハ-研磨パッド間の摩擦係数が異なる条件では、ウェーハ-研磨パッド間の摩擦係数の異なる2種類の研磨パッドをそれぞれ上研磨パッドおよび下研磨パッドとして使用した。実験のセットアップを図4に、実験結果を図5に示す。

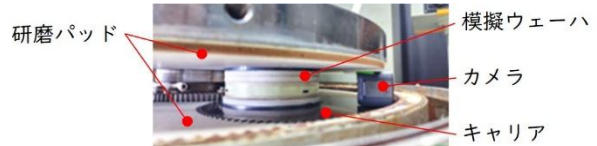


図4：ウェーハ回転挙動の観察実験

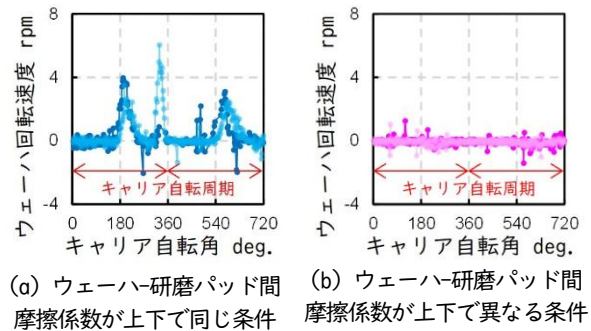


図5：ウェーハ回転挙動の観察結果

図5(a)からウェーハ回転速度が周期的に変化しており、その周期はキャリアの自転周期と一致することが確認できる。これはウェーハ回転挙動の運動力学的分析と合致しており、本観察手法はウェーハ回転挙動を適切に評価できているといえる。また、図5(b)からウェーハの上下でウェーハ-研磨パッド間の摩擦係数が異なる条件ではウェーハが全く回転していないことが確認できる。これは、ウェーハ面内における研磨パッドから受ける摩擦力によるトルクの打ち消し合いの程度は相対的に変化しないが、ウェーハの上下における研磨パッドから受ける摩擦力の打ち消し合いの程度が相対的に小さくなったことにより、キャリアからのトルクの大きさが常に研磨パッドからのトルクの大きさより大きくなったためだと考えられる。したがって、ウェーハ回転挙動はウェーハが研磨パッドから受ける摩擦力のウェーハ面内および上下における打ち消し合いの程度に依存していることが確認された。

4. 結言

両面研磨加工において加工後のウェーハのテーパ形状抑制のために、ウェーハ回転挙動の運動力学的分析を行うとともに連続的に観察可能な手法を構築することにより、ウェーハ回転挙動を特徴づける要因を検討した。その結果、ウェーハ回転挙動はウェーハが研磨パッドから受ける摩擦力のウェーハ面内および上下における打ち消し合いの程度により特徴づけられることを明らかにした。

参考文献

- [1] Satake U, Seguchi Y, Enomoto T, Kinetic analysis of workpiece rotation behavior during double-sided polishing, CIRP Annals, Vol.74, pp.435-439, 2025.