

## 両面研磨加工におけるシリコンウェーハの高平坦化

大阪大学 ○池田亘亮 ◎佐竹うらら 原田勢那 榎本俊之

### 要 旨

半導体デバイスの基板材料であるシリコンウェーハには極めて高い平坦性が求められている。しかし、形状仕上げ工程として行われる両面研磨加工ではウェーハ面内で厚さむらが生じやすく、特に、ウェーハ片側に向かって非対称に厚さが増すテーパ形状の抑制は喫緊の課題となっている。そこで、ウェーハ面内の加工量分布を推定する計算モデルを構築し、平坦性向上に有効な加工条件の決定方法を提案した。

### 1. 緒 言

半導体デバイスの高集積化にともない、基板材料であるシリコンウェーハには一層の平坦性向上が求められている。ウェーハ表面の平坦性は、リソグラフィ工程における露光処理速度および解像度に強く影響し、現在主流の直径 300 mm のウェーハに対しては、ウェーハ全体における平坦性（ウェーハ面内の厚さの最大差）200 nm 以下という極めて厳しい仕様が要求されている。ウェーハ表面の平坦性は、ウェーハ製造の仕上げ工程である両面研磨加工によりおもに決定される。そのため、両面研磨加工における研磨機駆動部（定盤・ギア）の回転条件やスラリーの温度条件などに関して、ウェーハの平坦性、すなわちウェーハ面内の加工量分布の均一性の向上を目指した多くの検討が行われている<sup>(1),(2)</sup>。しかし各条件が加工量分布に及ぼす影響は明らかでなく、いずれもトライアンドエラーにより決定されているのが現状である。

そこで本研究では、ウェーハの平坦性向上に有効な定盤・ギアの回転条件の決定方法を確立することを目的に、両面研磨加工におけるウェーハ面内の加工量分布を推定する計算モデルを構築した。そして実際に、構築した計算モデルを用いて、一般的な両面研磨加工機を想定した定盤・ギアの回転条件の最適化を行った。

### 2. 両面研磨加工における加工量分布の推定

#### 2-1 計算モデルの構築

両面研磨加工では、工作物であるウェーハをキャリアと呼ばれる保持具に空けられた穴（キャリアホール）内に設置し、上下の定盤に貼り付けられた研磨パッド間で摺動運動を行わせることにより加工を行う（図 1）。ウェーハ面内の加工量分布は、研磨パッドに対するウェーハの摩擦摺動距離分布に比例することが知られているが<sup>(3)</sup>、その摩擦摺動距離分布は、研磨パッドに対するウェーハの相対運動により決定する。そこでウェーハ面内の摩擦摺動距離分布を推定可能な計算モデルとして、ウェーハ面内の各点における各時刻の相対速度を計算し、それを全加工時間にわたって時間積分することにより摩擦摺動距離を算出するモデルを構築した。

#### 2-2 ウェーハ-研磨パッド間の摩擦係数の評価

研磨パッド上におけるウェーハの運動は、キャリアの自転・公転により生じる並進運動と、キャリアホール内でウェーハ自身が自転する回転運動からなる。このうち並進運動の速さや方向は 2 つのギア（インナギア・アウトギア）の回転条件により決定するため任意に設定可能である。一方、キャリアホール内におけるウェーハ自身の回転運動は、ウェーハと研磨パッドの間で生じる摩擦力に起因するため、その速さや方向は任意に設定できない。ウェーハ-研磨パッド間の摩擦力を計算すること

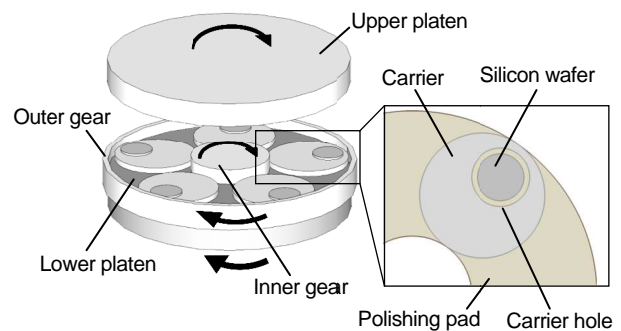


Fig. 1 Schematic of double-sided polishing process

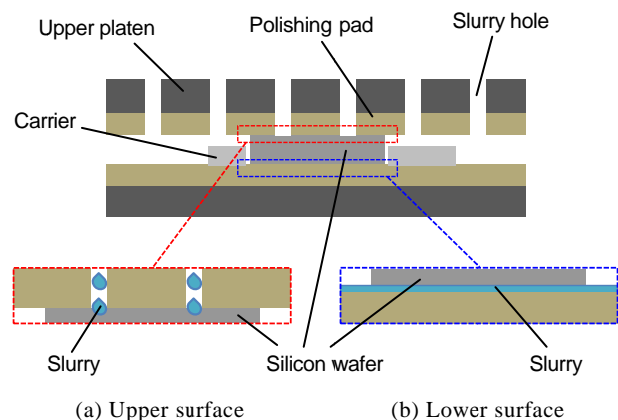


Fig. 2 Lubricated conditions on surface of silicon wafer

で運動力学的に導出することは可能であるものの、その導出結果に極めて重要な影響を及ぼすウェーハ-研磨パッド間の摩擦係数を適切に評価することが難しく、実際に導出が試みられた例はあるものの<sup>(4)</sup>、導出されたウェーハ自転数の精度は高いと言えないのが現状である。

物体間の摩擦係数はそれらの相対速度に依存し、相対速度と摩擦係数の関係は物体間の潤滑状態に強く依存する。そのためウェーハ-研磨パッド間の摩擦係数を評価する際は、両面研磨加工中のウェーハ-研磨パッド間の潤滑状態のもとで評価を行うことが重要となるが、両面研磨機の構成上、実際の両面研磨加工時の状態で摩擦力の測定を行うことは難しい。そこで、片面研磨機上で両面研磨加工時のウェーハ-研磨パッド間の潤滑状態を再現して評価を行うことを検討した。

両面研磨加工中はウェーハの上下面でスラリーの供給状態が異なるため、ウェーハ-研磨パッド間の潤滑状態もウェーハの

上下面で異なると考えられる。そこで、ウェーハの上下面の潤滑状態(図2)をそれぞれ再現し、ウェーハ-上側研磨パッド間およびウェーハ-下側研磨パッド間の摩擦係数を評価することとした。両面研磨加工では、上定盤に空いたスラリーホールからスラリーが供給される。そのためウェーハ上面に対しては、供給される位置は局所的であるものの、直接供給されることから潤沢な量のスラリーが供給されると考えられる(図2(a))。一方、ウェーハ下面に対しては、スラリーホールから下側研磨パッド上に滴下され広がったスラリーが供給される。そのため供給量は少ないものの、ウェーハ面内に均一に供給されると考えられる(図2(b))。

表1の条件のもと、図3の片面研磨機および測定器を用いて上述のそれぞれの潤滑状態を再現して摩擦係数の評価を行った。図4に示すように、ウェーハ-上側研磨パッド間の摩擦係数は相対速度とともに大きくなり、一方、ウェーハ-下側研磨パッド間の摩擦係数は相対速度によらず、ウェーハ-上側研磨パッド間の摩擦係数よりも小さい値で一定であった。以上のように、両面研磨加工中におけるウェーハ-研磨パッド間の摩擦係数の大きさおよび相対速度との関係は、ウェーハ上下面で異なることがわかった。

### 3. 定盤・ギアの回転条件の最適化

2.1節で構築した計算モデルおよび2.2節に示したウェーハ-研磨パッド間の摩擦係数の評価結果を用いて、15枚のウェーハを同時に加工するタイプの両面研磨加工機(表2)を想定し、ウェーハの平坦性向上を目的とした定盤・ギアの回転条件の最適化を行った。最適化計算では、インナギア回転数、アウトギア回転数、上定盤回転数および下定盤回転数の4つを設計変数に、ウェーハ面内の摩擦摺動距離の最大差を目的関数にそれぞれ設定し、遺伝的アルゴリズムを用いて最適な設計変数の組み合わせを求めた。なお総加工量を一定量以上に保つため、およびウェーハ上下面の加工量を同程度とするために、総摩擦摺動距離の最小値とウェーハ上下面の摩擦摺動距離の差の最大値に対してペナルティ関数を設定した。

表3に、一般的な回転条件(Conventional)と最適化後の回転条件(Optimized)を、図5にウェーハ面内の加工量分布の計算結果(一般的な加工条件における加工能率をもとに摩擦摺動距離を加工量に換算)をそれぞれ示す。最適化後の回転条件の場合には、一般的な回転条件の場合に比べて、テーパ形状の原因であるウェーハ周方向の加工量の不均一が抑制され、ウェーハ面内の厚さの最大差を表すGBIR(Global Backside Ideal focal plane Range)は410 nmから170 nmに低減した。以上より、提案した定盤・ギアの回転条件の決定方法の有用性が確認された。

### 4. 結 言

シリコンウェーハの両面研磨加工におけるウェーハ平坦性の向上を目的に、両面研磨加工におけるウェーハ面内の加工量分布を推定する計算モデルを構築するとともに、そこで用いる重要なパラメータであるウェーハ-研磨パッド間の摩擦係数の評価方法を検討した。そして、それらを用いた定盤・ギアの回転条件の決定方法を提案し、その有用性を確認した。

### 文 献

- (1) 廣瀬ら, 日本機械学会論文集(C編), 74, 746 (2008) 2601.
- (2) 橋本ら, 精密工学会誌, 84, 2 (2018) 188.
- (3) F.W. Preston, Journal of the society glass technology, 11 (1927) 214.
- (4) 福井ら, 精密工学会誌, 84, 3 (2018) 277.

Table 1 Polishing conditions

Polishing machine	Single-sided polishing machine Lapmaster SFT Corp., LP-15F
Polishing pressure	13.8 kPa
Workpiece	Silicon wafer
Diameter	125 mm
Rotation speed	0 rpm
Polishing pad	Polyurethane foam pad
Diameter	420 mm
Rotation speed	5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 rpm
Slurry	Colloidal silica
Concentration	Fujimi Inc., GLANZOX-1302 1 wt%

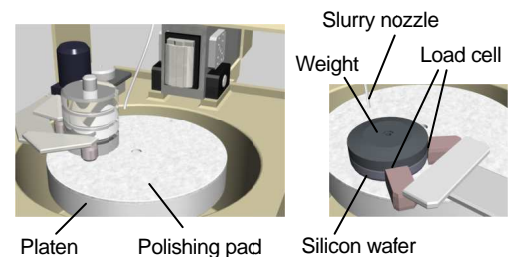


Fig.3 Schematic of measuring setup of frictional force

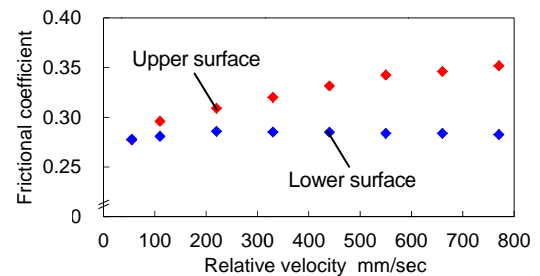


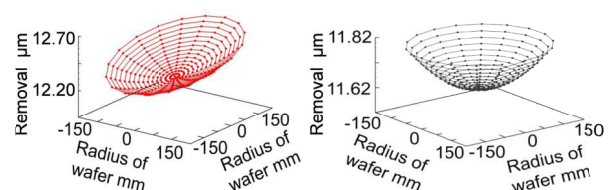
Fig.4 Relations between relative velocity and friction coefficient

Table2 Specifications of polishing machine

Diameter of inner gear	530 mm
Diameter of outer gear	2000 mm
Diameter of carrier	700 mm
Diameter of silicon wafer	300 mm
Number of carriers per batch	5
Number of wafers per carrier	3

Table3 Rotation conditions

	Conventional	Optimized
Inner gear	11.00	-2.28
Outer gear	10.00	3.08
Upper platen	-10.00	-15.23
Lower platen	30.00	22.55



(a) Conventional conditions (b) Optimized conditions

Fig.5 Calculated removal distributions on wafer