

両面研磨における加工物形状推移の推定

金沢大学 ○ 尾崎 稜, ◎ 橋本 洋平, 佐野 智哉, 古本 達明, 小谷野 智広, 細川 晃

加工物両面を同時に研磨する両面研磨は、良好な平面度と表面粗さが求められる半導体ウェハの製造などにおいて不可欠な加工法である。本研究では、プレストンの法則に基づき算出される材料除去量により加工物形状を逐次する、加工物形状推移の推定手法を開発する。そして、開発手法を活用し、両面ラッピングによる加工物の平坦化と、ポリシングによる加工物形状の悪化に関する解析を行い、開発手法が技術開発などに有効なツールとなりうることを確認した。

1. 緒言

加工物両面の良好な平面度と表面粗さを実現する両面研磨は、半導体ウェハや光学部品、水晶発振子などの製造において必要不可欠な加工技術となっている。このため、その加工性能の向上は重要な課題であるが、現状では勘と経験に基づき技術開発や加工条件検討が行われている。このため、近年、加工条件検討などへの活用を目指した解析手法が開発されている。研磨加工における研磨量は、プレストンの法則により研磨圧力と相対速度、時間に比例することが知られている。このことから、相対速度と時間の積である摩擦距離に基づく研磨量分布の推定¹⁾が開発されている。また、福井らは加工物の板厚分布の偏りに起因する、研磨圧力分布の実測値を活用する、研磨量分布の推定手法を開発している²⁾。しかし、これまでに開発されている解析手法では、加工の進展による加工物形状の変化を推定することができず、加工時間の見積りなどに活用することはできない。このため、本研究ではすきま理論³⁾により算出する研磨圧力分布に基づき研磨量分布を推定し、加工物の形状を更新する、両面研磨における加工物の形状推移の推定手法を開発する。そして、開発手法を活用し、両面ラッピングによる加工物の平坦化と、ポリシングによる加工物形状の悪化に関する解析を行う。また、開発手法の一部であるウェハ挙動の推定を、平坦形状だけでなく、凸形状、凹形状に対しても行い、加工物形状の違いがウェハ挙動およびそれに起因する加工量分布に及ぼす影響についても検討する。

2. 両面研磨における形状推移の推定手法

2.1 両面研磨のモデル化

図1に本研究で対象とする両面研磨（ラッピング）の模式図を示す。本研究では、上定盤は回転しない3way式の研磨装置を考え、加工物は薄肉円盤形状であるウェハとする。上下の定盤に挟まれたウェハは、サンギヤとインターナルギヤにより遊星運動が与えられるキャリアの円形穴で保持される。このため、ウェハはキャリア穴内で力学的つりあいを満たすように運動する。ウェハは砥粒を介して上下の定盤と接触しながら運動することで、両面が同時に研磨される。なお、平面度向上を主目的とする定盤を用いるラッピングに対し、表面粗さ高上を主目的とするポリシングでは、定盤に貼付けられたパッドにより加工が用いられる。

2.2 加工物形状推移の推定手法

図2に解析のフローチャートを示す。最初に加工前のウェハの上下面の高さ分布を設定する。そして、設定したウェハ形状における上下定盤との接触応力分布を推定する。ここでは、すきま理論に基づき、定盤またはパッドを一次元弾性変形モデルにより定義し、ウェハとの干渉量分布から接触応力分布を算出する。次に、ウェハと定盤間の相対速度分布を算出する。相対速度の算出に必要なウェハ挙動は、算出した接触応力分布や加工条件等から、ウェハに生じる力とモーメントのつりあ、ウェハとキャリアの接触条件を満たす条件を基に同定する。そして、プレストンの法則に基づき、これまでに算出された接触応力と相対速度の各分布と、研磨効率分布と計算ステップ時間の積をとることで研磨量分布を推定する。なお、接触応力分布と相対速度分布は、キャリアの向きによって異なる。このため、各向きにおける研磨量分布を算出し、その平均を検討ステップにおける研磨量分布とする。そして、この研磨量分布とウェハの高さ分布の差から、検討ステップ終了時の加工物高さを算出し、ウェハ形状を更新する。この解析を繰り返すことで、加工の進展による加工物形状の変化を推定する。なお、本研究では、ウェハは簡略化のため剛体として検討を行う。また、実際の加工ではウェハとともに定

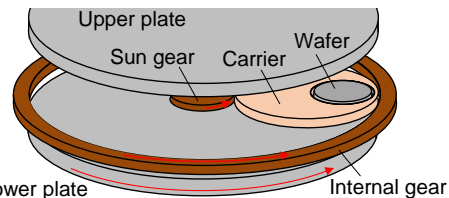


Fig. 1 Schematic illustration of double-sided lapping

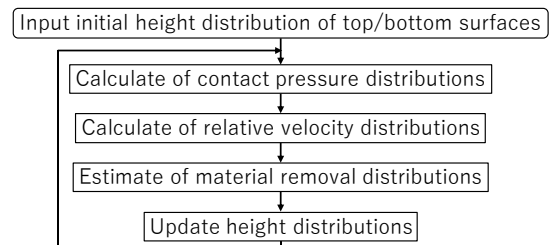


Fig. 2 Flowchart of developed estimation method

Table 1 Estimation condition

Wafer radius [mm]	25.4	
Rotation speed of upper platen [min^{-1}]	0	
Rotation speed of lower platen [min^{-1}]	15	
Revolution speed of carrier [min^{-1}]	7.5	
Rotation speed of carrier [min^{-1}]	9	
Applied pressure per wafer [kPa]	20	
Elastic modulus [MPa/mm]	Lapping	6200
	Polishing	4
Preston coefficient [$\mu\text{m}/(\text{kPa}\cdot\text{m})$]	Lapping	0.01
	Polishing	0.001
Initial TTV of wafer [μm]	10	

盤やパッドの形状も変化していくが、ここではその影響を無視し常に平坦形状とする。

3. 開発手法を活用した両面研磨に関する解析的検討

3.1 解析条件

表1に解析条件を示す。ここでは、4Bサイズの両面研磨機を用いた2 inchのガラスウェハの両面研磨を対象とする。加工前のウェハ形状は平坦と、上下面とも凸と凹の3種類の形状を検討する。ここで、ウェハは周方向に対称な形状とし、初期の高さ分布は球面により定義する。また、両面ラッピングでは鋳鉄定盤とSiC砥粒の使用を、両面ポリシングではウレタンパッドと Ce_2O_3 スラリの使用を想定し、弾性特性およびプレストン係数分布を設定する。なお、実際の加工では、プレストン係数はウェハの上下各面内で一様分布とはならないと考えられるが、ここでは接触圧力と相対速度の及ぼす影響に着目するため、一様分布と考える。

3.2 加工物形状がウェハ挙動に及ぼす影響

両面ラッピングにおいて推定される、平坦、凹、凸の3形状のウェハ回転数の変化を図3に示す。ここで、横軸は定盤中心からキャリア中心に向かう p 軸と、キャリア中心からウェハ保持穴中心に向かう直線のなす角度で定義されるウェハ保持穴角度 θ_h である。図に示すように、いずれの形状においても、 θ_h が 0° と 180° 付近のウェハ回転数は、 90° と 270° 付近と比べ小さくなる。これは、 0° と 180° 付近ではウェハ上面

と下面に生じる接触力の方向が概ね一致するため、キャリアとの接触力が小さくキャリアとの間ですべりが生じやすい一方、 90° と 270° 付近では上下面に生じる接触力が完全には相殺されないため、キャリアとの接触力が大きくキャリアとの間ですべりが生じにくいのである。なお、凹形状ではウェハ回転数は平坦形状よりも小さくなる。これは、定盤との接触力が外周側ほど高く、摩擦力によるモーメントが大きくなるため、キャリアに対しすべりやすくなるためである。一方、中心側ほど定盤との接触力が高く、摩擦力によるモーメントが小さくなる凸形状では、キャリアとの間ですべりが生じにくくなるため、ウェハ回転数は平坦形状よりも大きく、 θ_h が 0° と 180° 付近を除きキャリアの自転回転数と概ね一致する。このことから、現実的な解析・検討を行うためには、ウェハ形状により異なるウェハ回転数とその加工特性に及ぼす影響の理解が重要であるといえる。

ウェハ回転数が研磨量分布に及ぼす影響として、まず相対速度分布の変化に起因するものが考えられる。また、プレストン係数の一因子である研磨液の供給状態の変化に起因する影響も考えられる。ここでは、ウェハ形状の違いによる前者の影響を検討する。図4に相対速度分布に起因する研磨量分布の偏りを表す、平均相対速度分布を示す。平均相対速度はウェハ回転数から算出される相対速度分布を、ウェハの回転を考慮し周方向に平均化することで算出する。図から、いずれのウェハ形状においても平均相対速度は上下面とも中心側よりも外周側で大きくなる。これは、接触圧力およびプレストン係数が均一分布ならば、外周側ほど研磨量が大きくなることを意味するため、重要な特性であるといえる。なお、凹形状では平均速度は上下面で概ね同じ分布となる一方、凸形状では平均速度分布の偏りは上面で大きくなる。このように平均相対速度はウェハ形状により異なるが、その差は最大でも2%程度であり、後述するように非平坦形状における接触力分布の偏りと比べ十分に小さい。このため、ウェハ形状による相対速度分布の違いが研磨量分布に与える影響は大きくないと考えられる。なお、上記の研磨液の供給状態の変化に起因する影響は、今後の検討課題と考えている。

3.3 加工物の形状推移の推定

開発手法により算出される加工物の両面ラッピングによる12秒毎の形状の推移を図5に示す。図に示すように、凹形状、凸形状の加工物ともに、接触力が高くなる厚板部から研磨され、平坦形状となっていく様子が確認される。また、いずれの形状においても、被加工部は初期形状と比べ十分に平坦であることから、上記のようにウェハ形状による相対速度分布の違いが研磨量分布に及ぼす影響は小さいといえる。そして、本手法を用いることで、各加工条件において目標の平面度を実現するために、必要な加工時間を推定することができる。

また、初期形状が平坦な加工物に対し、両面ポリシング加工を行った際の30分毎の形状の推移の推定結果を図6に示す。なお、図では最高部を揃えて表示している。また、上面と下面の形状推移は対称となるため、ここでは上面のみを表示する。3.2節で記す平均相対速度分布の偏りにより、平坦形状を対象とする本推定では中心と比べ外周近傍の加工量が大きくなる。このため、図に示すように加工物の表面形状は加工とともに凸形状となり、加工進展により研磨量分布が均一分布となる接触力分布となるまで、形状が推移する。なお、この平面度の悪化は、弾性率が小さいほど大きくなるため、ポリシングにおける顕著な現象であるといえる。また、図7に平面度の指標のひとつであるTTV (Total Thickness Variation) の変化を示す。ここで、TTVは推定される上下の表面形状から算出される板厚分布の最大値と最小値の差である。図に示すように、加工時間とTTVの関係も推定するため、必要平面度を維持するための最大加工時間の推定も行うことができる。

上記のように、開発手法を活用することで、これまでに両面研磨ではできなかった、各加工条件における加工時間の見積りが可能となる。このため、実験による整合確認はまだ行っていないものの、本開発手法は技術開発や加工条件検討などに有効なツールとなると期待される。

4 結言

両面研磨において加工物形状の推移を検討できる解析手法を開発した。そして、凹形状と凸形状のウェハが両面ラッピングにより平坦形状へと推移していく様子を解析した。また、平坦ウェハの両面ポリシング

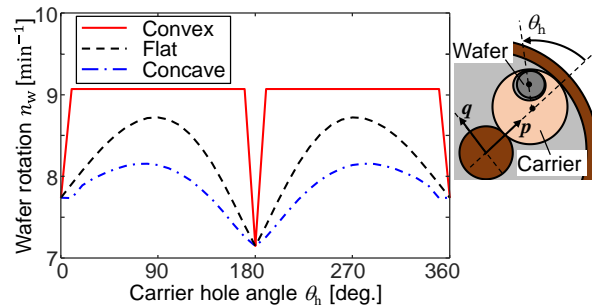


Fig. 3 Variation of wafer rotational speed

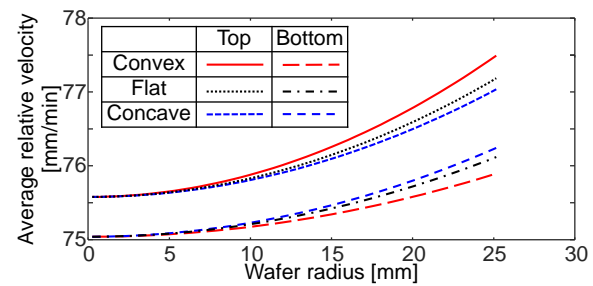


Fig. 4 Average relative velocity

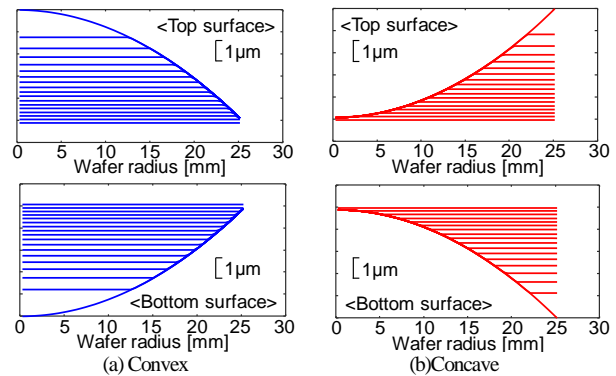


Fig. 5 Variation of surface profiles by double-sided lapping

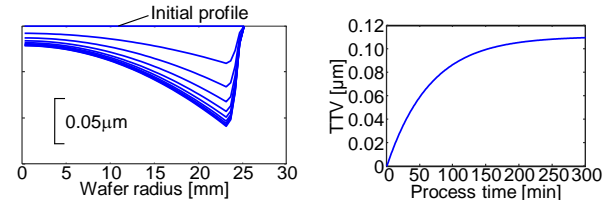


Fig. 6 Variation of top surface profiles by double-sided polishing

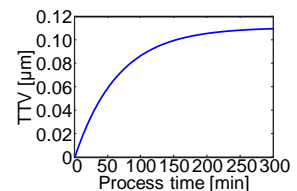


Fig. 7 Total thickness variation by double-sided polishing

により平坦度が悪化する現象の解析も行った。開発手法を活用することで、各加工条件における加工時間の見積りが可能となるため、本開発手法は技術開発や加工条件検討などに有効なツールとなると期待される。また、凹形状と凸形状のウェハに対するウェハ挙動を推定し、ウェハ形状によりウェハ回転数が異なることを明らかにした。ただし、相対速度分布に起因する研磨量分布への影響は、接触力分布による影響と比べ僅かであることを確認した。

なお、本稿において登壇者は、3.2節のウェハ形状の違いがウェハ挙動に及ぼす影響を評価するとともに、解析手法を修正し活用することで、3.3節の加工物の形状推移の推定に関する検討を行った。

参考文献

- 1) 例えば、橋本洋平ら：両面研磨におけるウェハとキャリアの接触を考慮したウェハ挙動の高精度解析手法の開発，精密工学会誌，83，5(2017)，433-438
- 2) 福井 克成ら：両面研磨加工におけるウェハ厚さむら抑制のための加工条件最適化，精密工学会誌，84，3(2018)，277-283
- 3) 宇根篤暢，河西敏雄：現場で使える研磨加工の理論と計算手法，日刊工業新聞社，(2010)