

## サファイアウエハの CMG 加工技術に関する研究 ～ 砥石の開発と加工条件の影響 ～

茨城大学 ○山崎直樹, ◎周 立波, 清水 淳, 小貫哲平, 尾畠裕隆, 三井研削砥石(株) 藤原 隆

### 要 旨

サファイアウエハは青色 LED の基板やスマートフォンのカバーガラスとして高い需要がある。平坦化加工には固定砥粒ダイヤモンド研削と化学機械研磨 CMP が行われているが、サファイアウエハは高硬度な難削材であるために、高能率に高品位ウエハの創生が難しい。

そこで本研究では、研削工程に固相化学反応を取り入れた化学機械研削 CMG 砥石を開発し、加工条件の影響調査とともに表面粗さ  $Ra=10\text{nm}$  以下の表面を実現した。

### 1. 緒 言

2014 年度のノーベル物理学賞で話題になっている青色 LED (Light Emitting Diode) は、単結晶サファイア基板に窒化ガリウム(GaN)膜を結晶成長させて製造されており、その基板 (ウエハ) には原子レベルの平坦性が要求される。しかし、ダイヤモンド砥石による平面研削では、図 1 に示すように、得られた表面には固定砥粒による引っ掻き痕と遊離砥粒によるラッピング面が混在していることがわかる。また、図 2 に、SD1000 砥石の(a)研削前と(b)研削後の砥石作業面状態を示す。研削後の砥粒が、研削前と比べ劇的に減少していることもわかる。さらに、研削後の砥石作業面にはコンタクトフラットが観察でき、砥石の結合剤が研削中にウエハ表面と直接接していることがわかった。したがって、砥石作業面の多くのダイヤモンド砥粒は、研削加工中に脱落しウエハ表面を劣化させたと結論付けられる<sup>1)</sup>。このような研削表面のピットやクラックなどの表面損傷は、今のところ CMP(Chemo-Mechanical Polishing)加工に頼らざるを得ないが、サファイアは化学的安定かつダイヤモンド、炭化ケイ素に次ぐに硬度を持つため、CMPの加工レート MRR(Material Removal Rate)が  $1\sim 3[\mu\text{m}/\text{h}]$  と極めて低いなど、多くの課題が残っている。

本研究では、固定砥粒による加工変質層のない完全表面創成技術に関する研究に取り組んでおり、これまで単結晶 Si ウエハの研削工程に固相化学反応を取り入れた機械・化学融合加工技術 CMG(Chemo-Mechanical Grinding)を開発、確立してきた<sup>2)</sup>。そこで本研究では、CMG 加工技術をサファイアウエハに応用すべく、サファイアウエハ用の CMG 砥石を開発し、加工条件が表面粗さに与える影響を調査し、検討した。

### 2. 実験装置と CMG 砥石

図 3 に示す超精密研削盤(UPG150)を用いて、厚みが  $2.4\sim 2.6\text{mm}$  の  $\phi 2\text{inch}$  サファイアウエハ (C 面) を加工する。この加工機の特長として、空気静圧で浮上した砥石主軸 (Z 軸) を、圧力調整型空気圧シリンダーを用いて背後から押すことで定圧研削が可能である。また研削加工中に、研削動力を砥石主軸モータのインバータから A/D 変換器を介して記録・モニタリングし、この研削動力を一定に保つことで定圧研削加工が実現する。

WA( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )砥石を使って酸化クロム( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ )を研削する時に生じた砥石異常摩耗を述べた文献<sup>3)</sup> からヒントを得て、WA と同じ化学組成を持つサファイアと固溶反応ができる  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  砥粒を開発した。基礎実験を経て、CMG 砥石を開発した。表 1 に開発した CMG 砥石の外観および仕様を示す。粒径が  $0.36\mu\text{m}$  の  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  砥粒を用い、直径  $10\text{mm}$  のセグメントを焼成し、リング状に配置している。セグメントの曲げ強度を約  $1.0[\text{kgf}/\text{mm}^2]$  と低く抑えることで、砥粒の脱落を促進させ、効果的な化学反応を狙っている。

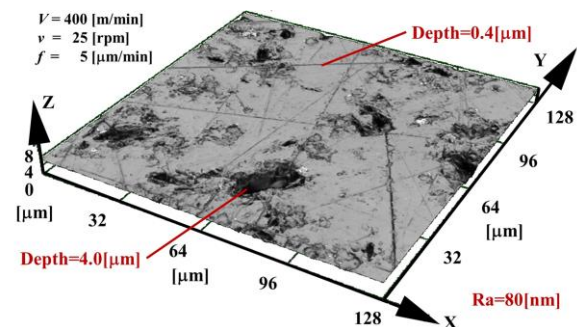
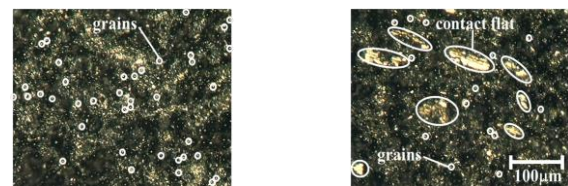


図 1 SD1000 砥石によるウエハ研削面



(a) 研削前の砥石表面

(b) 研削後の砥石表面

図 2 ダイヤモンド砥石表面の砥粒の状態

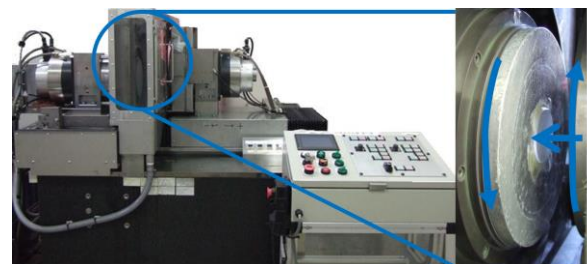


図 3 超精密研削盤(UPG150)

表 1 CMG 砥石の外観および仕様

CMG 砥石	酸化クロム砥石		
	サイズ	評価項目	単位
	D300×T43×H220, $\phi 10 \times 7$		
評価項目	評価値		単位
曲げ強度	0.92		$[\text{kgf}/\text{mm}^2]$
曲げ弾性率	558		$[\text{kgf}/\text{mm}^2]$
密度	2.55		$[\text{g}/\text{cm}^3]$

### 3. 実験結果および考察

実験にあたり、使用するサファイアウエハの初期表面を統一するためにSD500で加工をおこなった。この時の加工条件は、砥石回転数  $n_1 = 400$  rpm, ウエハ回転数  $n_2 = 25$  rpm で設定し、送り速度は粗研削  $f_1 = 5.0$   $\mu\text{m}/\text{min}$ , 精研削  $f_2 = 1.0$   $\mu\text{m}/\text{min}$  の2ステップでそれぞれ送り量  $\Delta_1 = 70$   $\mu\text{m}$ ,  $\Delta_2 = 5$   $\mu\text{m}$  を与えた。得られた初期面の表面粗さ Ra は 100~180 nm である。

CMG 加工実験は、一定圧力下のもとで砥石回転数  $n_1$  とウエハ回転数  $n_2$  の2因子が表面粗さ Ra に与える影響を調べるために、実験計画法を取り入れて実施した。表2に示すように砥石回転数  $n_1$  を低速の 350rpm と高速の 600rpm, ウエハ回転数  $n_2$  を低速の 50rpm と高速の 100rpm の2水準ずつを与え、表3のように組み合わせ、2因子×2水準の合計4回のCMG加工実験をそれぞれ60min行った。これにより、表面粗さに対して、砥石回転数  $n_1$  とウエハ回転数  $n_2$  の値の増減が表面粗さの Ra に与える影響が定量的に評価した。なお、今回のCMG加工実験における法線方向の研削圧力  $F_n$  は砥石回転数  $n_1 = 350$  rpm のときは 60kPa で、砥石回転数  $n_2 = 600$  rpm のときは 34kPa であった。

SD500 砥石およびCMG 砥石で加工した各加工面の表面粗さ Ra を光干渉型顕微鏡で測定した。図4には、ウエハ半径方向における初期表面および4回のCMG加工実験で得られた表面の三次元トポグラフィを示す。すべてのCMG実験において60minの加工で表面粗さ Ra が 10nm 以下に改善されたことがわかる。1, 2, 3のCMG加工条件の組み合わせでは、ウエハ表面にピットなど欠陥が微小ながら残存・観察された。それに対して4番目の条件組み合わせ(砥石回転数  $n_1 = 600$  rpm, ウエハ回転数  $n_2 = 100$  rpm)において、このような表面損傷が見られず、ウエハ全面で表面粗さ Ra が 5nm を下回った。これは、高速加工条件下で、砥石とウエハの接触面内の温度が上昇し、活発に化学反応が行われた結果と推察している。

上記4回の実験の組み合わせで得られたウエハ半径方向の表面粗さの平均値を表3に併示した。砥石回転数  $n_1$ , とウエハ回転数  $n_2$  が、それぞれ表面粗さ Ra に与える影響を実験計画法により求め、その結果を図5に示す。今回の実験結果より、砥石・ウエハ回転数は共に高速であるほど、ウエハ表面粗さ Ra が小さくなることがわかる。特にウエハ回転数が砥石回転数より、2倍強の影響を及ぼしていることが特筆に値する。

図6は、SD500 砥石による初期加工面と砥石回転数  $n_1 = 600$  rpm, ウエハ回転数  $n_2 = 100$  rpm の条件でCMG加工によるウエハ表面の比較である。1時間で表面粗さ Ra が 132nm から 3nm までに大幅に改善することを実現し、サファイアウエハに対するCMG加工の有効性を示した。

### 4. 結言

サファイアウエハを高能率かつ高品位で加工するために化学反応を取り入れたCMG砥石を開発し、加工条件が表面粗さ Ra に与える影響を調査・検討した。得られた結果を以下にまとめる。

- 1) サファイアウエハと固溶反応ができる  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  砥粒を持つCMG砥石を開発した。
- 2) 砥石・ウエハ回転数は共に高速であるほど、ウエハ表面粗さ Ra が小さくなる。ウエハ回転数が砥石回転数より、2倍強の影響を与えていることが分かった。
- 3) 短時間で表面粗さ Ra が 132nm から 3nm までに大幅に改善し、サファイアウエハに対するCMG加工の有効性を示した。

### 参考文献

- [1] Yutaro Ebina et al.: Study on grinding processing of sapphire wafer, Advanced Materials Research Vol. 565(2012), pp 22-27
- [2] Mikami et al.: Development of CMG Wheels for Stress Relief in

表2 因子の表記

因子	水準	
	-	+
砥石回転数 $n_1$ [rpm]	350	600
ウエハ回転数 $n_2$ [rpm]	50	100

表3 条件の組み合わせと条件の組み合わせと実験結果

No.	$n_1$	$n_2$	表面粗さ Ra [nm]
1	-	-	7.306
2	-	+	8.351
3	+	-	9.289
4	+	+	4.968

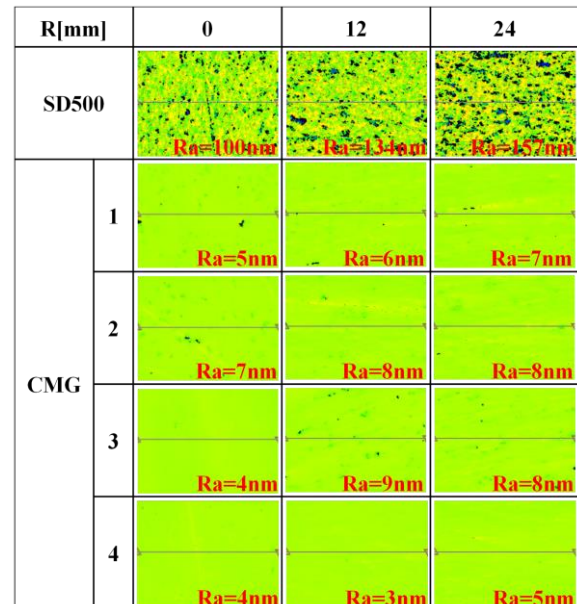


図4 三次元画像と表面粗さ Ra の比較

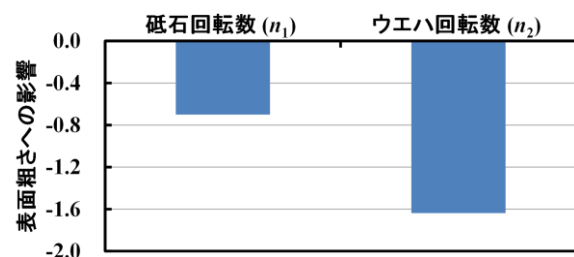
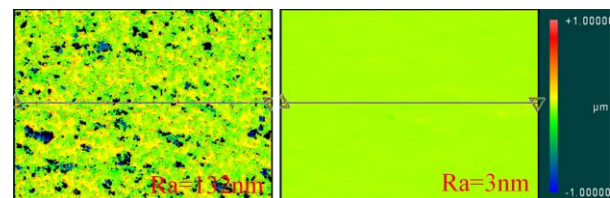


図5 表面粗さ Ra への影響



(a)SD500 研削表面 (b)CMG 加工表面

図6 CMG加工後のウエハ表面

Si Wafer Thinning Process, Advanced Materials Research Vol. 325 (2011), pp 678-683

- [3] R. Komanduri: The Mechanism of Metal Build-up on Aluminum Oxide Abrasive, Annals of the CIRP, 25/1, 1976, p. 191