

シリコンウェーハ研磨加工におけるエッジ・ロールオフの抑制

大阪大学 ○尾林勇眞 佐竹うらら ◎榎本俊之

要 旨

半導体デバイス用基板の主流であるシリコンウェーハの研磨加工では、ウェーハ表面の平坦性向上、特に、ウェーハ外周部で生じるエッジ・ロールオフの抑制が最重要課題となっている。そこで、エッジ・ロールオフの抑制に有効な研磨パッド特性を明らかにするとともに、その特性の評価方法を構築した。

1. 緒 言

半導体デバイスにおける配線の微細化は今なお着実に進められ、現在では 14 nm プロセスを採用したデバイスが量産されている。2017 年には次世代の 10 nm プロセスへの移行も期待されているが、製造プロセスの微細化にともなうチップ歩留まりの低下が深刻な問題となっている。歩留まり向上には、マルチパターニングをはじめとするリソグラフィ技術の高度化とともに、基板であるシリコンウェーハの高平坦化が不可欠である。そのため現在の先端デバイス向けウェーハには、サイトフラットネス（チップサイズ相当の範囲における厚さむら）十数 nm 以下という極めて厳しい仕様が要求されている¹⁾。しかし、ウェーハ表面の平坦性は、ウェーハ製造の最終工程で行われる研磨加工で悪化しやすく、特にウェーハ外周付近では表面形状が丸くだれやすい。ウェーハ外周部における表面形状のだけは「エッジ・ロールオフ」と呼ばれ、これにより、現在ウェーハ最外周から 2 mm の範囲はチップ製造に使用しない領域 Edge exclusion area (E.E.) とされている。歩留まり向上のため、E.E. を 1.5 mm、さらには 1 mm にまで僅少化することが強く望まれており、それを実現するエッジ・ロールオフ抑制技術の確立が喫緊の課題となっている。

エッジ・ロールオフは、工具である研磨パッド特性、特に硬さの影響を強く受けることが経験的に知られ、これまで量産プロセスではゴム硬度や圧縮率を指標として研磨パッドの選定・開発が行われてきた。しかし、特にタイプ（材質）が異なる研磨パッド間の比較では、ゴム硬度や圧縮率とエッジ・ロールオフの大きさがまったく対応せず、有用な指標とならないという問題が顕在化している。

そこで本研究では、エッジ・ロールオフに影響を及ぼす研磨パッド特性を明らかにするとともに、その特性の評価方法を検討し、タイプが異なる研磨パッドに対しても研磨パッド間の優劣を正しく評価できる指標を確立した。

2. エッジ・ロールオフ抑制に有効な研磨パッド特性²⁾

筆者らはこれまでに、エッジ・ロールオフ、すなわちウェーハ加工面外周部における加工量の増大は、研磨パッドに対するウェーハの沈み込み量が小さいほど抑制されることを明らかにした。図 1 は、片面研磨機（Lapmaster 製 LP-15F、図 2）により、研磨圧力が異なる二水準の加工条件（表 1）で 5"シリコンウェーハの研磨加工実験を行った際の加工の進行にともなう Roll-Off Amount (ROA) の推移である。ROA は、ウェーハ最外周から 3 mm ~ 6 mm の範囲の形状を基準としたときの最外周から 1 mm の位置のロールオフ量とした。同図に示されるように、研磨圧力が小さい場合のほうが、すなわちウェーハの沈み込み量が小さい場合のほうが ROA が小さい。そのため、研磨パッド特性としては変形特性が重要であり、変形しにくい研磨パッドほどエッジ・ロールオフ抑制に有効である。

3. 研磨パッドの変形特性評価方法

一般に、研磨パッドは粘弾性体であるため、その変形挙動は加圧

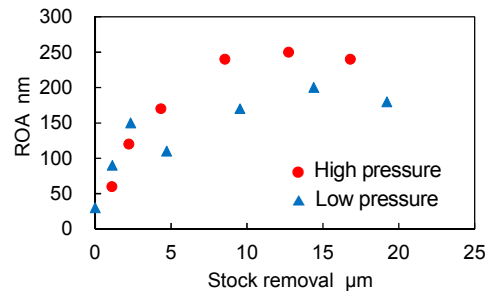


Fig. 1 Changes in ROA with stock removal

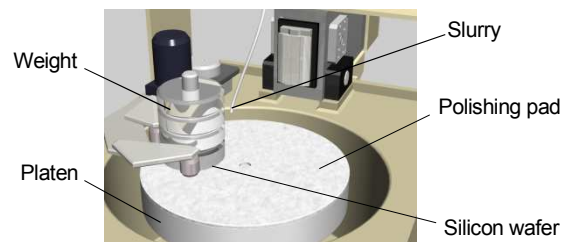


Fig. 2 Schematic of single-sided polishing process

Table 1 Polishing conditions

Workpiece	Silicon wafer 5"
Rotation	40 rpm
Polishing pad	Nonwoven type Nitta Haas Inc., SUBA800
Diameter	420 mm
Rotation	40 rpm
Slurry	Colloidal silica (1 wt%, 35 nm) Fujimi Inc., GLANZOX-1302
Supply rate	25 mL/min
Polishing pressure	High: 13.4 kPa, Low: 7.3 kPa

時間をはじめとする加圧条件に強く依存する。そこで、研磨パッドの変形特性評価における加圧条件の影響を検討した。

加工時、研磨パッド上の各点は、ウェーハが通過するたびに以下の加圧・除圧サイクルを繰り返し受ける。

- I. ウェーハの通過開始とともに加圧される
- II. ウェーハが通過している間、加圧状態が保持される
(ウェーハ通過時間：約 0.1 秒 ~ 1.0 秒)
- III. ウェーハの通過終了とともに除圧される
- IV. ウェーハが通過していない間、無加圧状態が続く

図 3 に、市販の発泡ポリウレタンタイプ研磨パッドに対する押し込み試験において、上記のようなサイクル（加圧保持時間：0.3 秒）を一回与えた際に得られた研磨パッドの変形挙動を示す。試験は、デッドウェイト方式の自作の押し込み試験機により行った。同図に示されるように、加圧直後に瞬間的に変形が生じた後、加圧状態が

保持されている間、クリープ変形により徐々に総変形量（瞬間弾性変形量とクリープ変形量の和）が増大した。また、除圧直後には瞬間的に回復が生じ、その後、クリープ回復により加圧前の状態に戻った。エッジ・ロールオフに対しては、ウェーハ外周部に位置する研磨パッド表面の変位が重要な影響を及ぼすことから、変形特性評価では、上記 I ~ IV を再現した加圧・除圧サイクルを繰り返し与えたうえで、加圧直後に生じる瞬間弾性変形量および除圧直後に生じる瞬間弾性回復量を評価する必要がある。

一方、一般的なゴム硬度試験や圧縮率試験では、加圧後数十秒間（ゴム硬度試験の場合）または数分間（圧縮率試験の場合）、加圧状態が保持された後の変形量が測定される。図 4 に、加圧保持時間を 80 秒と長く設定し、異なる四種類の研磨パッド（不織布タイプ研磨パッド Pad A, Pad B, スウェードタイプ研磨パッド Pad C, Pad D）に上記と同様の押し込み試験を行った結果を示す。加圧状態が保持されている間の総変形量の増大の仕方は研磨パッドごとに異なり、スウェードタイプ研磨パッド（Pad C, Pad D）は不織布タイプ研磨パッド（Pad A, Pad B）に比べて増大の仕方が大きかった。またそれにより、Pad A と Pad C および Pad B と Pad D の間では、エッジ・ロールオフに影響を及ぼす変形量、すなわち加圧直後に生じる瞬間弾性変形量と、加圧状態が 80 秒間保持された後の総変形量の大小が逆転した。以上より、従来のゴム硬度試験や圧縮率試験では、長時間加圧保持した後の変形量が測定されるために研磨パッド間の優劣が正しく評価されていないと考えられる。また、上記 I ~ IV のサイクルが繰り返される影響が考慮されていないことも、研磨パッド間の優劣が正しく評価されない原因と考えられる。

そこで、I ~ IV を再現した加圧・除圧サイクルを研磨機上で繰り返し与えられる押し込み試験機（図 5）を開発した。瞬間的な加圧・除圧、および 0.01 秒単位での加圧保持時間制御を実現するため、アクチュエータには高速動作が可能なボイスコイルモータを用いた。

4. タイプが異なる研磨パッドの変形特性評価

近年、シリコンウェーハの研磨加工には、平坦性向上の要求とともにスクラッチをはじめとするディフェクト低減の要求が高まっている。そのため、研磨パッドタイプの変更（硬質な発泡ポリウレタンタイプ研磨パッドから軟質な不織布タイプ研磨パッドへの変更）や、仕上げ研磨プロセス（スウェードタイプ研磨パッドを使用）の時間延長といったプロセスレシピの改善が行われており、タイプが異なる研磨パッド間の比較にも適用可能な研磨パッド特性の指標が強く求められている。

そこで、タイプが異なる六種類の市販研磨パッド（不織布タイプ研磨パッド Pad E, Pad F, 発泡ポリウレタンタイプ研磨パッド Pad G, スウェードタイプ研磨パッド Pad H ~ Pad J）を用意し、5"シリコンウェーハの片面研磨加工実験、および開発した試験機による押し込み試験を行い、構築した変形特性評価方法の検証を行った。図 6(a) に研磨加工実験で得られたウェーハの ROA を、同図(b) に押し込み試験で得られた各研磨パッドの瞬間弾性変形量と瞬間弾性回復量を示す。また、同図(c) および(d) に各研磨パッドの製品検査表に記載されていたゴム硬度および圧縮率を示す。ゴム硬度や圧縮率が一部の研磨パッド間の比較においてエッジ・ロールオフの大小と大きく逆転しているのに対し、開発した試験機による押し込み試験では、タイプが異なる研磨パッドに対しても研磨パッド間の優劣を正しく評価することができた。

5. 結 言

シリコンウェーハの研磨加工において、エッジ・ロールオフ抑制に有効な研磨パッド特性の有用な指標を確立することを目的に、研磨パッドの変形特性評価方法を構築した。

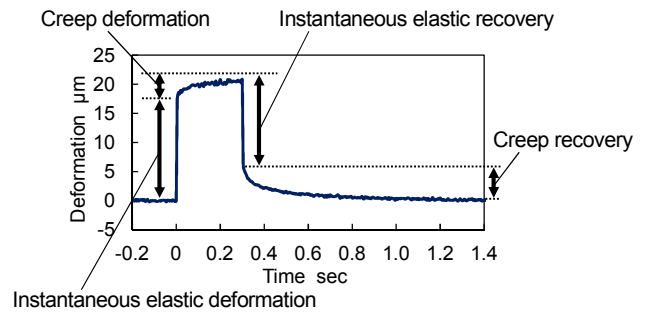


Fig. 3 Deformation-recovery curve of polishing pad

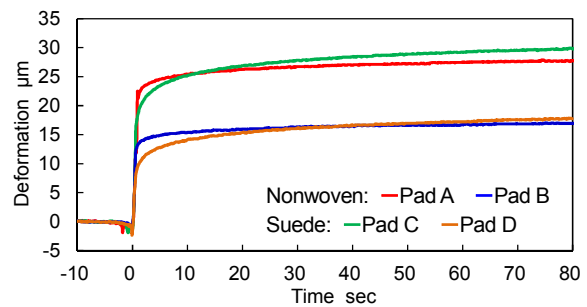


Fig. 4 Indentation test results (Hold time: 80 sec)

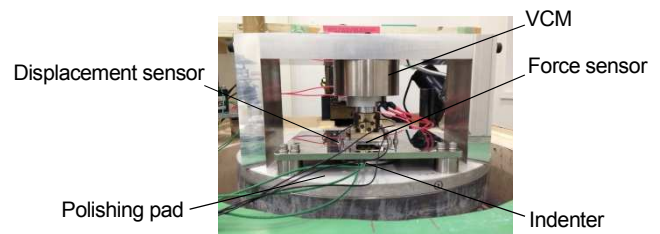


Fig. 5 Apparatus for measuring deformation properties of pads

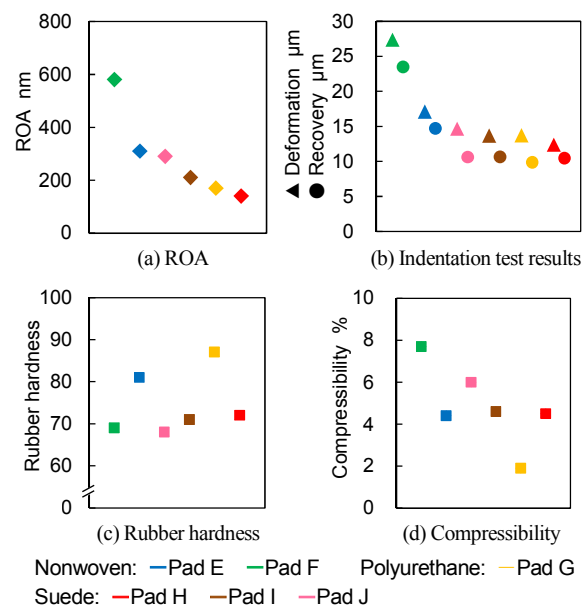


Fig. 6 Edge roll-off of wafers and deformation properties of pads

文 献

- (1) International Technology Roadmap for Semiconductors Committee: The International Technology Roadmap for Semiconductors 2013 Edition -Front End Processes, (2013).
- (2) Satake U. et al.: Evaluation of Polishing Pad Property by Rubber Hardness Test -Estimating Edge Surface Flatness of Workpiece-, Procedia CIRP, 14, (2014) 329.