

エッジ・ロールオフを抑制する研磨パッドの開発に関する研究

大阪大学 ○名部洲甫 佐竹うらら 尾林勇真 ◎榎本俊之

要 旨

シリコンウェーハ製造の最終工程である研磨加工では、ウェーハ外周部でエッジ・ロールオフと呼ばれる平坦性の劣化が生じ、半導体デバイス製造における歩留まり低下の要因として深刻な問題となっている。そこで本研究では、ウェーハ外周部で生じる応力集中に着目して高ポアソン比を有する研磨パッドを開発し、エッジ・ロールオフの抑制を実現した。

1. 緒 言

近年、データセンタやIoTの爆発的な拡大により、半導体デバイスの需要が急増するとともに、配線の微細化によるさらなる高集積化が強く求められている。微細配線の実現には極めて平坦なデバイス基板が必須となるが、主要な基板材料であるシリコンウェーハの製造では、最終工程で行われる研磨加工においてウェーハ外周部の平坦性劣化、いわゆるエッジ・ロールオフが発生する。これによりウェーハ外周部では半導体デバイスを製造できず、深刻な歩留まり低下が引き起こされていることから、エッジ・ロールオフの抑制は極めて重要な課題となっている。

エッジ・ロールオフ、すなわちウェーハ外周部における加工量の急激な増大は、ウェーハと研磨パッドの接触面外周部で生じる応力集中に起因する。研磨パッドとウェーハの接触を弾性体と剛性円板の接触モデルとして考えると、応力集中、すなわちエッジ・ロールオフの抑制には、研磨パッドのポアソン比を大きくすることが有効である^{(1),(2)}。

そこで本研究では、ポアソン比が大きな材料を用いて新たな研磨パッドを作製し、その研磨加工特性を評価したので報告する。

2. 高ポアソン比を有する研磨パッドの試作

ポアソン比が大きな材料として、一般にゴム材料が知られている。そこでまず、市販のゴムシートを研磨パッドに用いて、表1の加工条件により5インチのシリコンウェーハの片面研磨加工実験(図1)を行った。しかし、研磨パッド表面にスラリーが良好に保持されず、ウェーハが研磨パッドに密着してしまい、加工をほとんど行えないことがわかった。そこで、十分なスラリー保持性を得るために発泡ゴムを基材とした材料を用いて研磨パッドを試作したところ、一般的な研磨パッドと同等の加工能率(0.2 $\mu\text{m}/\text{min}$ 程度)を得ることができた。

試作研磨パッド(Manufactured pad)と市販研磨パッド(Commercial pad; ニッタ・ハース株式会社製 MH-S15A)に対し、ポアソン比の評価、およびシリコンウェーハの片面研磨加工実験(表1)によるエッジ・ロールオフ特性の評価をそれぞれ行った。研磨パッドのポアソン比は、自作の押し込み試験機で測定されるポアソン比指標値^{(3),(4)}により評価した。ポアソン比指標値は、加圧面径が異なる二つの圧子を用いて押し込み試験を行った際の大径圧子による押し込み変形量に対する小径圧子による押し込み変形量の比であり、ポアソン比が大きいほど大きな値となる。また、エッジ・ロールオフ特性は、ウェーハ最外周から3 mm~5 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である Roll-off amount (ROA) により評価した。

図2(a)に加工の進行にともなう ROA の変化を、図2(b), (c)に累積加工量約2 μm 時点および約10 μm 時点におけるウェーハ外周付近の形状プロファイルと研磨パッドのポアソン比指標値をそれぞれ示す。加工開始直後(累積加工量約2 μm)においては、試作研磨パッドは市販研磨パッドよりも大きなポアソン比を有しており(ポアソン比指標値: 1.01)、優れたエッジ・ロールオフ抑制効果を示した(ROA: 50 nm)。しかし累積加工量10 μm 時点では、加工開

Table 1 Polishing conditions

Single-sided Polishing machine	Engis Japan Corporation EJW-4601FN
Workpiece Rotation	Silicon wafer 5" 40 rpm
Polishing pad Diameter Rotation	420 mm 40 rpm
Polishing pad dresser Dressing pressure Dressing time	#200 Diamond 5.4 kPa 5 min
Slurry	Colloidal silica (1 wt%, 35 nm) Fujimi Inc., GLANZOX-1302
Supply rate	25 mL/min
Polishing pressure	13.8 kPa

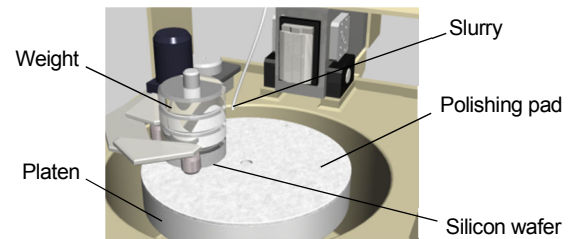
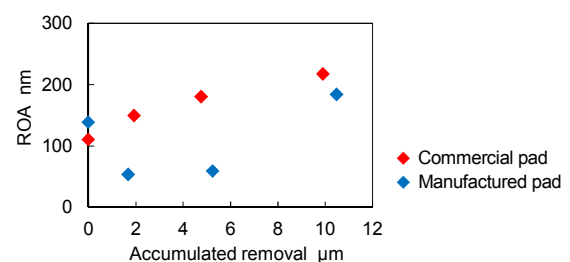
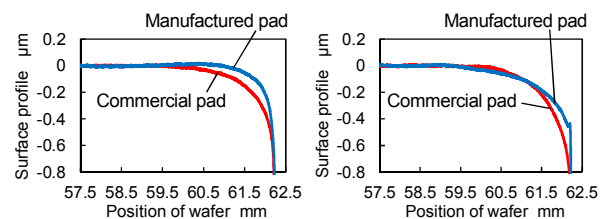


Fig. 1 Schematic of single-sided polishing process



(a) Changes in ROA with accumulated removal



Index value of Poisson's ratio		Index value of Poisson's ratio	
Manufactured pad	1.01	Manufactured pad	0.85
Commercial pad	0.65	Commercial pad	0.64

(b) Accumulated removal : 2 μm (c) Accumulated removal : 10 μm
Fig. 2 Edge roll-off and index value of Poisson's ratio of pad

始直後に比べてポアソン比が小さくなり(ポアソン比指標値:0.85), エッジ・ロールオフは市販研磨パッド使用時と同程度となった(ROA: 180 nm).

3. エッジ・ロールオフ抑制効果の低下

ポアソン比が大きな研磨パッドによりエッジ・ロールオフを抑制できることが確認されたものの, 試作研磨パッドにおいては, 累積加工量の増大にともないポアソン比が小さくなり, 優れたエッジ・ロールオフ抑制効果が安定して発現され続けられないことがわかった. ここで, 加工中の研磨パッド表面には, 研磨パッド上を摺動する工作物により押圧作用が繰り返し与えられるとともに, 連続的なスラリー供給により砥粒が付着する. そこで, 研磨パッド表面に対する繰り返し押圧作用および砥粒の付着がエッジ・ロールオフ抑制効果に及ぼす影響について検討した.

はじめに, 繰り返し押圧作用による影響を調べるために, 工作物の摺動による繰り返し押圧作用を事前に 60 分間与えた試作研磨パッドにより研磨加工実験(表 1)を行った. なお, 砥粒の付着による影響を除くため, 事前の工作物摺動は純水供給下で行った. その結果, 事前に繰り返し押圧作用を与えた試作研磨パッドにおいても加工開始直後には高いエッジ・ロールオフ抑制効果が確認され, 研磨パッド表面に対する繰り返し押圧作用がエッジ・ロールオフ抑制効果に及ぼす影響はないことがわかった.

次に, 砥粒の付着による影響を調べるために, 加工後(累積加工量 10 μm)の試作研磨パッド表面(図 3 (a))にドレスを行い, 表面に付着している砥粒(図 3 (a)中の白い箇所)を除去してから再び研磨加工実験(表 1)を行った. その結果, 加工開始直後に再び高いエッジ・ロールオフ抑制効果が確認され, 研磨パッド表面に対する砥粒の付着がエッジ・ロールオフ抑制効果の低下を引き起こしていることがわかった. なお, あらかじめ表面にスラリーを含ませた試作研磨パッドにおいても加工開始直後には高いエッジ・ロールオフ抑制効果が確認された. このことから, 研磨パッド表面に対する砥粒付着の原因は, スラリーが介在した状態における工作物の摺動であると推測される.

4. エッジ・ロールオフ抑制効果を安定して発現する

研磨パッドの開発

試作研磨パッドが優れたエッジ・ロールオフ抑制効果を安定して発現し続けるためには, 加工中に研磨パッド表面に砥粒が付着するのを防ぐ必要がある. ここで, 加工後の試作研磨パッド表面(図 3 (a))を詳細に観察した結果, 砥粒の付着量は, 工作物摺動域(研磨パッドの半径方向中央部)の内周側により多く分布していることがわかった. これは, 研磨パッドの回転にともなう遠心力の影響により研磨パッド内周側ほどスラリー量が少なくなり, 低湿潤状態となることで砥粒が付着しやすくなったためと考えられる.

そこで, 試作研磨パッドの表面に粒度の粗いドレッサ(#60 Diamond)で高圧(6 kPa)のドレスを施し, 表面粗さを大幅に増大させた新たな研磨パッド(開発研磨パッド)を作製した. また, 工作物摺動域の内周側に, スラリーとは別に純水を滴下する(25 mL/min)ためのノズルを設置した. 表面粗さの増大により研磨パッドのスラリー保持性が高まることに加え, スラリー量が少なくなりやすい工作物摺動域の内周側により多くの液が供給されることで, 研磨パッドの表面全体が安定して高湿潤状態に保たれることを期待した.

開発研磨パッド(Developed pad)により研磨加工実験(表 1)を行った際の, 加工後(累積加工量 10 μm)の研磨パッド表面の観察結果を図 3 (b)に示す. また, 加工の進行にともなう ROA の変化を図 4 (a)に, 累積加工量約 2 μm 時点および約 10 μm 時点におけるウェーハ外周付近の形状プロファイルと研磨パッドのポアソン比指標値を図 4 (b), (c)にそれぞれ示す. 加工後も, 研磨パッド表面には砥粒の付着はほとんど見られず(図 3 (b)), 加工開始直後と同程度の大きなポアソン比が維持された(図 4 (b), (c)). そして, 累積加

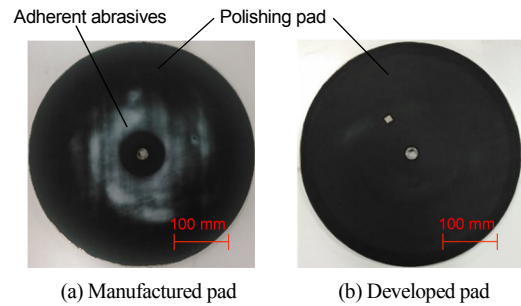
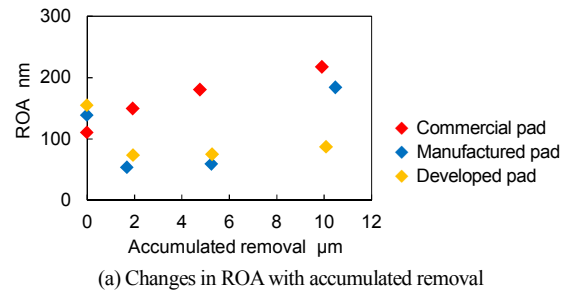
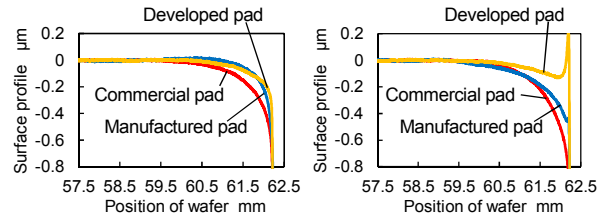


Fig. 3 Surface of polishing pads after polishing process



(a) Changes in ROA with accumulated removal



Index value of Poisson's ratio		Index value of Poisson's ratio	
Developed pad	0.99	Developed pad	0.98
Manufactured pad	1.01	Manufactured pad	0.85
Commercial pad	0.65	Commercial pad	0.64

(b) Accumulated removal : 2 μm (c) Accumulated removal : 10 μm
Fig. 4 Edge roll-off and index value of Poisson's ratio of pad

工量 10 μm 時点まで, 優れたエッジ・ロールオフ抑制効果を安定して得続けることができた. なお, 累積加工量 10 μm においてエッジ付近の形状プロファイルがスキージャンプ形状となり(図 4 (c)), これは研磨パッド特性の変化が要因であると考えられるが, 今後の詳細な検討を要する.

5. 結 言

シリコンウェーハの研磨加工におけるエッジ・ロールオフの抑制を目的に, 発泡ゴムを基材とした材料を用いて高ポアソン比を有する研磨パッドを開発した. 開発研磨パッドを, その表面を高湿潤状態に保ちながら使用することにより, 従来の研磨パッドよりも高いエッジ・ロールオフ抑制効果を安定して得続けることができた.

文 献

- (1) 木村孟: 二層地盤の力学性状に関する解析的研究, 土木学会論文報告集, 162 (1969) 31-48.
- (2) T. Enomoto, et al.: A newly developed polishing pad for achieving high surface flatness without edge roll off, Annals of the CIRP, 60 (2011) 371-374.
- (3) Hui Jin, et al.: Determination of Poisson's ratio of articular cartilage by indentation using different-sized indenters, Journal of biomechanical engineering, 126, 2 (2004) 138-145.
- (4) 佐竹うらら, 他: 高平坦エッジ形状を実現する研磨パッド特性(加工前エッジ形状がエッジ形状創成仮定に及ぼす影響), 日本機械学会論文集(C編), 78, 796 (2012) 156-166.