

32nm 世代以降の CMP スラリーとその研磨機構

(株)フジミインコーポレーテッド ○森永 均 玉井一誠

Challenges and Mechanisms of CMP Slurries for 32nm and Beyond

Hitoshi Morinaga and Kazusei Tamai, Fujimi Incorporated

CMP (Chemical Mechanical Polishing) technologies are required to achieve i) planarized surfaces, free from any ii) defects, iii) surface roughness, with iv) higher cleanliness and v) higher productivity. The requirement by the industry is becoming more severe and diversified along with further integration of semiconductor devices. This paper will review the challenges and mechanisms of CMP slurries for 32nm and beyond. The essential functions for CMP slurries are: i) material removal, ii) surface protection and iii) contamination control. Controlling abrasive shapes and surface charges are important to achieve higher removal rate. Additive technologies are key to improve the function for surface control (protection). Contamination including large particles, impurities, agglomerations, byproducts and ambient factors such as dissolved gasses and light, also affect the defects and surface roughness (not only affect the surface cleanliness). It is important to eliminate or to control these contaminations to achieve the surfaces required for 32nm and beyond.

Key words: CMP, nanodefekt, surface roughness, removal rate, metal gate, CuMn

1. 緒言

CMP プロセスには, 1) 平坦性, 2) 平滑性, 3) 無欠陥性, 4) 高洗浄性, 5) 高生産性(高研磨レートなど)の達成が求められる。

要求レベルはデバイスの高集積化と低価格化と共に厳しくなっており, したがって CMP 技術にはそれに適合するための進化が常に求められる。技術の進化を支えるのは, その根底にあるメカニズムの理解である。本稿では32nm以降のCMPスラリーの課題と研磨機構に関する最近の研究結果を解説する。

2. 32nm 以降の CMP スラリーの課題

CMP スラリーにはおよそ 30nm (10-50nm) のシリカやセリア, アルミナが砥粒として用いられており, これはデバイス寸法が現在の 10 倍の 350nm だった頃から大きく変わっていない。32nm 世代以降は一般的な砥粒径もしくはそれ以下の欠陥や汚染が問題になると言う意味で象徴的である。

新材料の導入は 100nm 世代以降確実に進んでいるが, 32nm 以降の CMP で特筆すべきは, FEOL (Front End Of Line) に Al を用いるダマシゲート, BEOL (Back End Of Line) に CuMn, ULK など, TSV (Through Silicon Via) ではシリコンと Cu の共存面の導入が検討されている点である。中でも Al ゲートプロセスは, 汚染に敏感で配線幅の最も細い最下層プロセスにおいて, 物理的に軟質で, 化学的にも扱いにくい Al (酸にもアルカリにも溶ける両性金属) を研磨しなければならない点でハードルは高い。

高集積化デバイスの汎用化に伴って, 生産性・信頼性の向上も重要となっている。歩留まり向上, スループット向上には, 形状・欠陥・汚染のより高精度な制御技術と共に, 少ない副資材(スラリー, パッド)で高い研磨速度を達成する, 高効率 CMP 技術が求められる。

3. CMP スラリーのメカニズムと課題達成の考え方

CMP スラリーに必要な機能は, ①材料除去, ②表面保護, ③汚染制御の三つに大別される。以後, 個々の機能毎にメカニズムの詳細と, 32nm 以降の課題達成の考え方を述べる。

3.1. 材料除去

表層材料の除去には, 薬液による化学エッチング作用と砥粒による物理作用が用いられる。

化学エッチングのための重要パラメータは, 溶液の pH, 酸化還元電位, 錯化剤の有無であり, 中でも基本となるのが pH と酸化還元電位である。化学エッチングは, 研磨速度の増大に有効ではあるが, 過剰なエッチングは脆弱部の腐食や金属配線のディッシング増大を引き起こす。脆弱部材にダメージを与えず, 複数部材の共存面を均一に, 効率よく研磨するためには, 物理作用の高度化が不可欠である。

砥粒の物理作用の重要パラメータは摩擦エネルギーである。研磨機より与えられたエネルギーは, 研磨砥粒を通して摩擦エネルギーに変換される。摩擦は表層材料の機械的剥離を引き起こす。また摩擦熱の一部はケミカル反応(エッチング)の促進にも影響を及ぼす。摩擦エネルギーは研磨定盤を駆動させるエネルギーから求めることが出来る。**Fig.1** は様々な粒径・材質・形状の砥粒を用いて研磨した際の SiO₂ 膜の研磨速度が, 研磨時の機械的エネルギー(摩擦エネルギーから熱損失を減じたもの)と良く相関することを示している。

摩擦エネルギーの増大には, 作用する砥粒個数の増加, 砥粒一個あたりの接触面積の増加, 転がりにくさの増大が重要である。「作用する砥粒個数の増加」には, 砥粒の高濃度化のみが注目されがちであるが, 基板表面への砥粒の付着性を増大させることも効果的である。スラリー中の砥粒の多くは, 基板表面から離れて存在している。砥粒を基板表面により多く付着させるためには, 砥粒と基板のゼータ電位を制御し, 両者間に引力を働かせることが有効である。液中で砥粒-基板間に働く力は, DLVO 理論により, ファンデルワールス力と電気二重層による静電気力の総和から求めることが出来る。**Fig.2** は, 砥粒-基板間に働く引力が, 付着砥粒数の増大, すなわち摩擦力の増大を引き起こし, 結果として研磨速度の向上に有効に働いていることを示している。

砥粒一個あたりの接触面積の増加, 転がりにくさの増大には, 砥粒の形状が大きく影響する。**Fig.3** では, 研磨速度の向上に向け, 転がりにくく, 基板に(点接触ではなく)面接触する角状砥粒の適用を試みている。角状アルミナ砥粒は従来の粉砕アルミナに比べて, 高い研磨速度を示す。また, 粉砕アルミナに比べ

て、微粒が少ないことにより、「残留パーティクルが少ない」こと、角状ながら粗大粒がないことにより、「スクラッチが少ない」ことも明らかとなっている。

3.2. 表面保護

デバイス表面の平坦化には、共存部材中の脆弱な部材や、凹み部分が、過剰に研磨されるのを抑制するための保護膜として防食剤や界面活性剤の技術が用いられる。これらの添加剤技術は、ディッシング低減や金属部材の腐食防止には欠かせないが、表面吸着性が高いため、洗浄後も汚染として残留しやすいので、その選定と洗浄には注意が必要である。また、保護膜の不均一性は、表面形状の不均一性を引き起こすので、格段の注意を要する。

シリコン表面などの疎水性の強い基板表面には乾燥防止のための保護が重要である。研磨から洗浄に至る搬送工程で基板表面が乾燥すると、汚染は固着し、除去困難となる。「乾燥由来の汚染」から表面を保護するためには、研磨後の基板表面を最終洗浄が終了するまで親水性に保つことが重要である。親水性向上には、シリコン表面の酸化や、(表面を親水化させる)濡れ剤の添加が有効である。

3.3. 汚染制御

研磨による平坦化は、部材表面を除去し、あるいは保護する事によって達成される。この作用が原子レベルで均一であれば、スクラッチや突起、ピット、ラフネスのような研磨由来の表面凹凸欠陥は本来発生しない。しかし、プロセス中には、様々な不均一要因(汚染)がある。大粒・異物の混入、砥粒の凝集、研磨副生成物によるパッドの目詰まり、溶存ガスや光などの環境要因などである。これらの汚染因子は、表面残留汚染のみならず、様々な表面欠陥やラフネスの原因となる。

ナノレベルの欠陥、ラフネス、汚染撲滅のためには、混入する汚染の徹底した排除と、発生要因の制御が重要となる。大粒・異物の混入はろ過・分級・精製技術で徹底的に排除する。凝集やパッド目詰まりなどは、砥粒分散技術と副生成物溶解技術の向上によって抑制する。分散にはゼータ電位の制御とイオン強度の低減が有効である。副生成物の溶解・分散には、pH-電位の制御、錯化剤・界面活性剤の活用が有効である。

4. 結言

32nm 以降の CMP スラリーでは、繊細で脆弱な部材表面を、欠陥・ラフネス・汚染を引き起こすことなく、高効率に平坦化することが求められる。均一で効率的な物理作用による材料除去、バランスのとれた化学作用による表面保護、加えて、徹底した汚染要因制御がプロセス高性能化の鍵を握ると考える。

参考文献

- 1) K Tamai, H Morinaga, T Doi, and S Kurokawa: Proceedings of ICPT 2008, pp.22-28, Hsinchu (2008).
- 2) K Tamai, A Yasui, H Morinaga, T Doi, and S Kurokawa: Proceedings of ICPT 2009, pp.55-59, Fukuoka (2009).
- 3) M Tahara, Y Matsunami, F Saeki, K Tamai, and H Morinaga: Proceedings of ICPT 2009, pp.71-75, Fukuoka (2009).
- 4) H.Morinaga et al.: Journal of Electrochemical Society, **153**(7), pp.G626-G631, (2006).

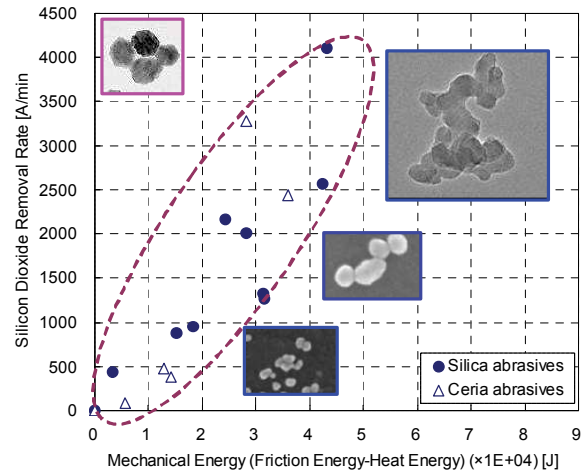


Fig.1 Removal rate of SiO₂ as a function of Mechanical Energy (Friction – Heat loss)¹⁾.

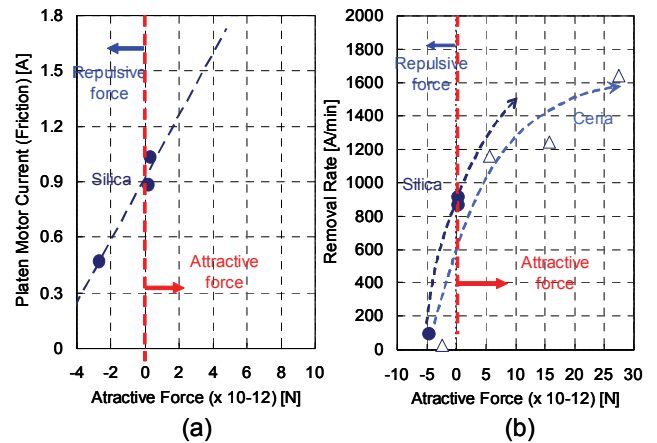


Fig.2 (a) Friction and (b) removal rate as a function of attractive force between abrasive and surface²⁾.

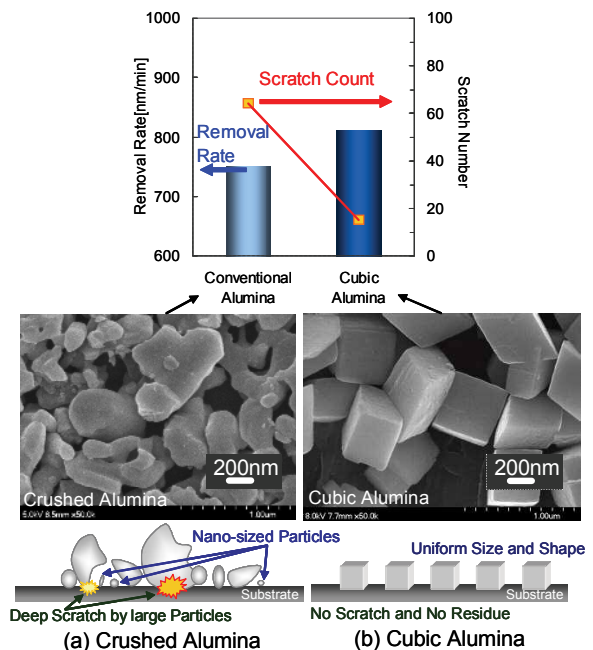


Fig.3 Effectiveness of the cubic abrasives on removal rate and scratch.