

高圧マイクロジェットを用いた CMP パッドコンディショニング技術

CMP Pad Conditioning Technique using a High Pressure Micro Jet

宮地 計二¹、清家 善之^{1*}、土肥 俊郎^{2,3}
Keiji Miyachi¹, Yoshiyuki Seike¹, Toshiro Doi^{2,3}

¹ 旭サナック株式会社 NC 事業部

Asahi Sunac Corporation NC division

² 埼玉大学 教育学部

The Faculty of Education, Saitama University

³ 九州大学 大学院工学研究院知能機械システム部門

Department of Intelligent Machinery & Systems Faculty of Engineering, Kyushu University

Abstract

Conventional diamond disc pad conditioning methods employed in chemical mechanical planarization (CMP) have presented several problems for integrated circuit (IC) manufacturers. These include diamond wear, which reduces pad life, and diamond fracture, which causes the semiconductor devices to be scratched by loose diamond fragments. In order to attempt to overcome these problems, a high-pressure micro jet (HPMJ) conditioning system, in which pressurized ultra pure water (UPW) ranging from 3 – 20 MPa is sprayed on the pad surface, is proposed and developed. In this study, it is demonstrated that the HPMJ can adapt the pad conditioning of device CMP and silicon CMP for the experiments.

Key Words: Chemical Mechanical Polishing (CMP), High pressure Micro Jet (HPMJ), Pad Conditioning

1. はじめに

今日、半導体素子の微細化が進み、同時に素子の多層化が進んでいる。国際半導体技術ロードマップ (ITRS)によると 2010年にはMPUでハーフピッチ 45nm, メタル層数10層が指針として示されている¹⁾。Chemical Mechanical Polishing (以下CMP)技術は、半導体素子の多層化および素子微細化のための素子分離に必要不可欠な技術である。CMPは半導体デバイスウェハをキャリアにチャックし、スラリーを滴下しながら、パッドに押し付けて平坦化を実現化する

ものである (以下デバイスCMP)。デバイスCMP工程では発泡ウレタンパッドが広く使われ、そのパッドコンディショニングは、ダイヤモンドコンディショニングが主流となっている。またCMP工程においては、製品の歩留まりとスラリーやパッドなどの消耗品のコスト高が大きな問題となっている。マイクロスクラッチ等の欠陥は、デバイス製造への影響は大きく、半導体素子が高層になるほど、ウェハの単価が高くなるために、高い信頼性が要求されるが²⁾、これらの欠陥は、パッドやスラリーに起因することが多い。これらの問題を解決するために、パッドの洗浄・コンディショニング技術は非常に重要である。

*〒486-8688 愛知県尾張旭市旭前町5050
電話: 0561-54-6199 FAX: 0561-52-2419
Email: seike@sunac.co.jp

表 1 パッドコンディショニング方法

| コンディショニング 方法 | 特徴 | 対象物 | 対応するパッドの種類 |
|--|--|---|---------------------------------------|
| ブラシパッドコン ディショニング | ナイロンやフッ素樹脂材のブラシをパッド表面に押 付けて、パッドのコンディショニングを行う。この方 法ではパッド内部のスラリー残渣等が残りやすい。 | ○ガラス基板 ○シリコンウェハ ○各種部品 | ○不織布パッド ○スウェードタイプパッド |
| ダイヤモンドパッ ドコンディショニ ング | ダイヤモンドカレットを散りばめたプレートのパッ ドに押付けてコンディショニングを行う。 半導体デバイス CMP においては広く用いられてい る。しかしパッド表面を削るためにパッドの寿命が短 くなる問題やダイヤモンドの脱粒によるスクラッチ の問題を抱える。 | ○半導体デバイス | ○発泡ウレタンパッド |
| 高圧マイクロジェ ット (HPMJ) パッ ドコンディショニ ング | 3~20MPa に加圧し、数十ミクロンオーダーの水滴を 高速で噴射する。他方法と比べ、パッドを清浄化する 能力に優れる。また他方法のコンディショニングとも 組み合わせることができる。 | ○シリコンウェハ ○半導体デバイス ○ガラス基板 ○各種部品 | ○発泡ウレタンパッド ○不織布パッド ○スウェードタイプパッド |

デバイスCMP以外にもシリコンウェハを製造する工程で、シリコン引き上げ後、外周研削、ノッチ形成、スライシング、ベベリング、ラッピングを行った後、ウェハ表面を高精度の平坦化する、いわゆるベアシリコンウェハのCMPがある（以下シリコンCMP）³⁾。デバイスCMPと同様にこの製造工程にもパッドコンディショニングがあるが、シリコンCMPに用いられるパッドにはウレタン製の不織布パッドが広く用いられている。このパッドコンディショニングには、ブラシによる方法が用いられていたが、パッドの清浄度不足でパッドの早期交換が問題となっていた。そこで3~20MPaの高圧水を孔径数百マイクロメートルの特殊ノズルにより、マイクロメートルオーダーの微小液滴を数十m/sに高速化させて、パッドに向け水滴を噴射する超高圧マイクロジェット (Super High Pressure Micro Jet 以下HPMJ)によるパッドコンディショニングを提案し^{4~7)}、装置化を実現し、その効果を見出したので報告する。

2. HPMJ パッドコンディショニングの原理と装置概要

2.1 従来のパッドコンディショニング

表 1 に各 CMP プロセスに用いられるコンディショニング方法を示す。デバイス CMP やシリコン CMP に用いられるパッド種に応じて色々なコンディショニング方法が提案され、実用化されている。

シリコン CMP 用不織布パッドに広く用いられるブラシパッドコンディショニングは、ブラシ先端が

パッド内部まで届かないので、パッド内部にスラリー残渣や研磨屑が残りやすいという欠点を持つ。デバイス CMP に用いられるダイヤモンドコンディショニング法はパッド表面をダイヤモンド粒で削り落とすためにパッドのライフが短くなるとともに、パッド溝に堆積したスラリーが完全に除去できないという問題、またダイヤモンド粒の脱落によるスクラッチ発生の問題を抱えている。HPMJでのパッドコンディショニングは、ダイヤモンドコンディショニングやブラシでのコンディショニングと違い、非接触のコンディショニング法であるために、ダイヤモンド粒の脱落等の問題を排除でき、パッドを清浄化する能力に優れている特長を持つ。またブラシコンディショニングとダイヤモンドコンディショニングを組合せて使用することも可能である。

2.2 HPMJ パッドコンディショニングの原理

図 1 は HPMJ パッドコンディショニングの概念図を示す。3~20MPa に加圧された純水は、ノズルから噴射されて、液滴径数十 μm で、数十 m/s 速度を持った液滴の集合体となる。

この個々の液滴がパッド表面上および内部に衝突する際の放射流で、スラリー残渣や CMP 屑を取り除く。HPMJ のコンディショニング性に起因する要因としては、噴射圧力、パッドーノズル間距離、噴射扇角度、流量、コンディショニング時間、ノズル振り角度で決定する。

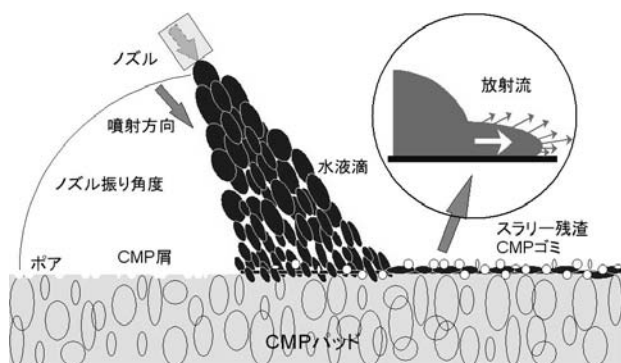


図 1 HPMJ パッドコンディショニングモデル

2. 3 装置の概要

表 2 に HPMJ システムのポンプユニットの標準仕様を、図 2 にそれらの外観図を示す。HPMJ ポンプユニットには、接液部の材質の違いから、接液部非金属で構成される MJ2800 タイプと接液部 SUS316L 等の金属で構成される AF5400SC タイプの 2 種類のポンプユニットを開発した。特に MJ2800 タイプのポンプは高圧水を発生できるにも関わらず、接液部を非金属で構成することにより、純水中に含まれる金属コンタミネーションを極力発生させないという大きな特徴を持つ。

表 2 HPMJ ポンプユニットの標準仕様

| ポンプタイプ | MJ2800 | AF5400SC |
|--------|---------------------------------|----------------------------|
| ポンプ方式 | エア駆動型プランジャー方式 | |
| 圧力比 | 1:33 | 1:45 |
| 最大静止圧力 | 15MPa | 20MPa |
| 噴射液 | 純水 | |
| 外形図 | 380×304×1071 mm 600×554×1799 mm | |
| 接液部材質 | ジルコニアセラミックス, Peek, フッ素樹脂 | SUS316L, アルミナセラミックス, フッ素樹脂 |
| Weight | 50kg | 200kg |

表 3 HPMJ からの金属汚染結果

単位: $\mu\text{g/L}$

| 元素 | Zn | Na | Al | Ca | Fe | Cu | Ni | Cr |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| ポンプ入口濃度 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.05 | <0.05 | <0.005 | <0.01 | <0.01 |
| ポンプ出口濃度 | 0.02 | <0.01 | <0.01 | <0.05 | <0.05 | <0.005 | <0.01 | <0.01 |



(a) MJ2800

(b) AF5400SC

図 2 HPMJ ポンプユニット外観

表 3 に HPMJ ポンプの出入口で、純水を採取して、 $\mu\text{g/L}$ オーダーで金属濃度を測定した結果である。各元素において HPMJ からの金属汚染は見られなかった。ポンプユニットで加圧された純水は接液部フッ素樹脂製の高圧ホースを介して、ノズルに送られ、パッドに向かって噴射される。回転しているパッド上でノズルが往復運動することによって、パッド全面のコンディショニングを行う。

3. HPMJ によるパッドコンディショニングの効果

3. 1 シリコン CMP のパッドコンディショニング

シリコン CMP において、HPMJ パッドコンディショニングの効果を検証するために 50 回連続のシリコン CMP を行い、研磨レート、パッド表面写真、SEM 観測で評価した。コンディショニングは(a)コンディショニングを行わない、(b)ブラシによるコンディショニング、(c)HPMJ パッドコンディショニングの 3 通りとした。

実験条件は以下のようにした。加工対象物は 4 インチのシリコンウェハを用い、パッドにはロデールニッタ社の SUBA800 を用いた。シリコンウェハとパッドの相対速度を 0.62 m/s として、30 分間 CMP を行った。スラリーには Nalco2350 (コロイダルシリカ) を用い、15mL/min で滴下した。ブラシでの

パッドコンディショニングは、ナイロン製のブラシを用い、パッド上に固定し、60 秒間行った。HPMJ でのパッドコンディショニングは、圧力 12MPa、パッドとノズル間距離 50 mm として、ノズルは噴射扇角度 25°、噴射流量 1.25L/min (12MPa 時) のものを用いて、60 秒間パッドに向かって噴射した。

評価は、研磨ごとにウェハの研磨量を電気マイクロメータで測定し、研磨レートを算出した。また CMP10 回ごとに、デジタルカメラで撮影し、その後 SEM 観察のために、パッドの同心円状にある一部分を 10mm 角で切り取り評価サンプルとした。

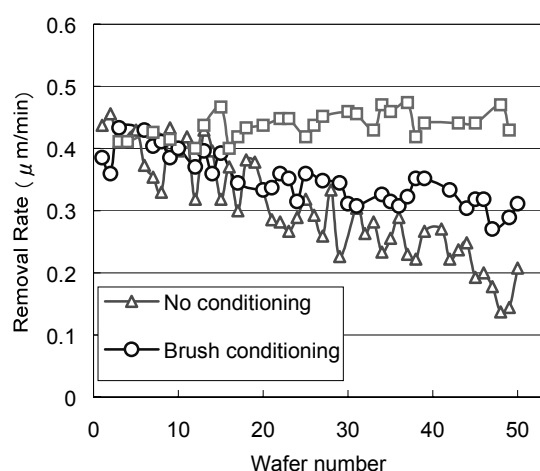


図 3 50 枚連続のシリコン CMP における研磨レート

図 3 に各コンディショニングにおけるシリコンウェハ CMP を行った場合の研磨レートを示す。コンディショニングレスでは、10 回目の CMP から徐々に研磨レートが $0.4 \mu\text{m/min}$ から $0.18 \mu\text{m/min}$ まで低下している。ブラシによるパッドコンディショニングの場合でも、研磨レートは徐々に低下し、 $0.4 \mu\text{m/min}$ から $0.23 \mu\text{m/min}$ まで低下している。HPMJ によるパッドコンディショニングでは、研磨レートは約 $0.45 \mu\text{m}$ 一定で推移し、低下は見られない。

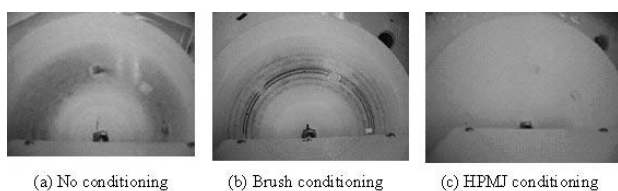


図 4 50 回シリコン CMP 後のパッド表面写真

図 4 は各コンディショニングにおいて、CMP50 回後のパッド表面の状態を示す。コンディショニングレスの場合は、パッド表面が褐色に変色してしまっている。ブラシコンディショニングの場合はコンディショニングレスほどでないが、褐色に変色している。またブラシのプレートをパッド上で固定しているために、コンディショニングができていない箇所とそうでない箇所が分かれた。HPMJ のコンディショニングを行った場合は、50 回の CMP を行っても、CMP 当初と同じであった。このことから、HPMJ はマクロ的にパッド表面の清浄化ができることが分かる。

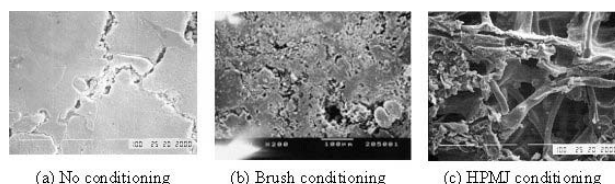


図 5 50 回シリコン CMP 後のパッド表面の SEM 像

図 5 は各コンディショニングにおいて、CMP50 回後のパッド表面の状態を示す。コンディショニングを行っていない場合はパッド表面をスラリー残渣が覆っている。同様にブラシコンディショニングの場合は、図 4(b)において褐色部の SEM 撮影を行ったが、スラリーの残渣が確認される。HPMJ コンディショニングを施した場合はスラリー残渣がなく、新品と同等のパッド表面であった。この時に繊維に付着しているものは、繊維同士を固着させ、パッドの強度を持たせるためのバインダーであり、スラリー残渣ではない。図 4 と図 5 よりパッドの褐色になっている部分はパッド内部に堆積したスラリー残渣であると推測される。このような結果に基づいて、シリコン CMP における HPMJ パッドコンディショニングは、パッドの表面清浄化が可能となり、現に実生産ラインにおいては、パッドのライフが数倍延びたとの報告もある。

3.2 デバイス CMP のパッドコンディショニング⁸⁾

デバイス CMP においては、各プロセスに応じて、酸化膜、アルミ、銅、タングステン等色々な膜に対

して CMP が行われる．本論においては，層間絶縁膜（Inter layer dielectrics, ILD）に用いられる酸化膜を 50 回連続で CMP を行い，研磨レートとパッド表面の SEM で評価した．コンディショニング方法は (a)ex-situ HPMJ コンディショニングを 30 秒，(b)in-situ ダイヤモンドコンディショニング，(c)in-situ ダイヤモンドコンディショニングと ex-situ HPMJ コンディショニングを 10 秒の組み合わせの 3 通りとした．

CMP 条件として，パッドは発泡ウレタン材質の Rohm and Haas 社製 IC1000 K 溝タイプ（サブパッドなし）を使用した．スラリーはフジミ社製 PL-4217（ヒュームドシリカ）を重量比 12.5% に調整し，80cc/min で滴下した．パッドとウェハの相対速度は 0.62m/s で一定とし，ウェハの加重圧力は 20.4kPa とした．ウェハは直径 100mm，膜厚 $725 \pm 15 \mu\text{m}$ の P-TEOS 酸化膜付のシリコンウェハを使用した．

実験手順として，まず 30 分間，純水を滴下しながらのダイヤモンドディスクによるシーズニング後，CMP が安定するまで，シリコンウェハを加工した．その後，連続 50 回の CMP を実施し，CMP 前後のウェハ上の酸化膜厚をエリプソンメータで 49 点測定し，その平均膜厚よりもとめた．すべての CMP 時間は 2 分とした．

HPMJ の噴射条件は，圧力 10MPa，パッドとノズル間距離 10mm として，ノズルは噴射扇角度 25° ，噴射流量 1.15L/min（10MPa 時）のものを使用した．

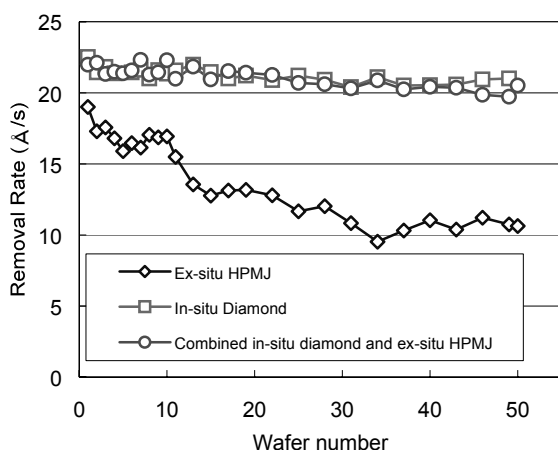


図 6 デバイス CMP（ILD）における研磨レート

また，噴射溶液は，パッド上の pH を下げないために，スラリーの pH と同じ pH 11.6 に調整した水酸化カリウム溶液を使用した．（145ppm）それぞれの CMP に対する研磨レートの結果を図 6 に示す．

Ex-situ HPMJ の場合，CMP 当初 19 Å/s あった研磨レートが 50 回の CMP 後，約 10 Å/s まで低下している．これは HPMJ 単体でのコンディショニングでは安定した CMP が行われていないことを示している．それに対して，in-situ ダイヤモンドコンディショニングでは約 21 Å/s で安定した推移となった．In-situ ダイヤモンドコンディショニングと ex-situ HPMJ コンディショニングの組み合わせも in-situ ダイヤモンドコンディショニングと同様，安定した推移となっている．つまりこの条件下の CMP においては，ダイヤモンドコンディショニングが必要であり，それに 10 秒の ex-situ HPMJ コンディショニングを付加しても同等な CMP 能力を得られる．デバイス CMP は非常にデリケートな CMP であり，高品位なデバイス表面が要求され，マイクロクラッチ等の欠陥管理は非常に厳しい．

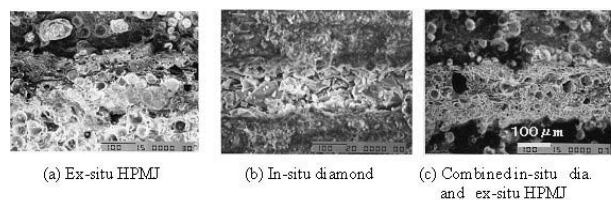


図 7 50 回デバイス CMP 後のパッド表面の SEM 像

図 7 は 50 枚 CMP 後の SEM 像を示す．中央部はパッドの溝となっている．in-situ ダイヤモンドコンディショニングの場合，パッド溝にスラリー残渣が蓄積されている．それに対し，HPMJ を施した他の 2 条件はパッド溝が清浄化され，クリーニングされていることが分かる．実生産ラインにおいては，パッド溝に溜まったスラリー残渣やパッド上にスラリーの凝集が，CMP 中にマイクロクラッチ等の欠陥の原因となる^{9,10}．そこで，実製造プロセスにおいては，HPMJ パッドコンディショニングを施すことによって，欠陥のない CMP が実現され大きな成果となっている．実際に酸化膜 ILD の CMP 工程に

においては、安定した CMP 能力を得る目的のダイヤモンドコンディショニングと欠陥除去を目的とした HPMJ での組み合わせで使用されている。

4. 半導体製造プロセス中の HPMJ の役割

上記までの実験において、HPMJ パッドコンディショニングの効果を確認することができ、実生産ラインにおいても、年々使用されるケースが多くなっている。HPMJ パッドコンディショニングの特徴がパッドの高寿命化および品質向上にあたるため、地球環境負荷低減に大きく寄与する。

また今回はデバイス CMP においては酸化膜 ILD CMP とシリコン CMP の2種類において紹介したが、実際には数多くの CMP 種が存在する。HPMJ は各種 CMP のパッドコンディショニングにおいて大きな可能性を持つ。

5. おわりに

本論では超高压マイクロジェット(HPMJ)によるパッドコンディショニング法を提案し、実験によってその効果を確認した。シリコン CMP においては、50 回連続の CMP を行い評価したところ、ブラシによるパッドコンディショニングよりも安定した研磨レートが得られ、かつパッド表面を清浄化することを確認した。デバイス CMP においては、ILD の 50 回連続 CMP を行い評価した。その結果、ダイヤモンドコンディショニングと HPMJ のコンディショニングを組み合わせることにより、安定した研磨レートが得られ、かつパッド表面を清浄化することを確認した。

今後、HPMJ パッドコンディショニングの新たなプロセスの探求を行う。

6. 参考文献

- 1) 2005 年度国際半導体技術ロードマップ, International Technology Roadmap for Semiconductors
- 2) P. B. Zantye, A. Kumar, A. K. Sikder: Chemical mechanical planarization for microelectronics applications, Materials Science and Engineering, **R45**, (2004) 89.
- 3) 土肥俊郎: 詳細半導体 CMP 技術, 工業調査会, (2001) 136.
- 4) 清家善之, 宮地計二, 土肥俊郎: 新しい超高压ジェットを用いたパッドドレッシング技術, 砥粒加工学会誌, **42**, (1998) 39.
- 5) 清家善之, 川島早百里, 宮地計二, 土肥俊郎, アラ・フィリポシアン: 新しい高圧マイクロジェット洗浄技術の提案とその装置化, 精密工学会誌, **71**, 1 (2005) 110.
- 6) Y. Seike, D. Denardis, M. Sugiyama, K. Miyachi, T. Doi, A. Philipossian: Development and Analysis of a High-Pressure Micro Jet Pad Conditioning System for Interlayer Dielectric Chemical Mechanical Planarization: Jpn J. Appl. Phys **44**, (2005) 1231.
- 7) 土肥俊郎, 甘利昌彦, 斉藤隆穂, 宮地計二, 清家善之: 日本特許, 公開番号 2997804(1997).
- 8) Y. Seike, H. Lee, M. takaoka, K. Miyachi, M. Amari, T. Doi, A. Philipossian: Development of a Pad Conditioning Process for Interlayer Dielectric CMP Using High-pressure Micro Jet Technology, J. of Electrochemical Society **153**, (2006), G223.
- 9) Seung-Ki Che: Challenges of CMP Process in the Nano-Scale Memory Device Manufacturing Fab, The 2nd PacRim International Conference on Planarization CMP and its Application Technology, 2005, 1.
- 10) 清家善之, 李考相, 宮地計二, 土肥俊郎, アラ・フィリポシアン: 高圧マイクロ(HPMJ)を用いた CMP パッドコンディショニングに関する研究, 砥粒加工学会誌, **50(8)**, (2006) 465.

謝辞

本研究を行うに当たり、HPMJ を用いて実験面で協力して頂いた埼玉大学大学院教育学研究科清木彰彦氏(現在 セレブレックス・ホールディング株式会社)に深く感謝致します。