

# 半導体プロセスにおける超高压純水洗浄による静電気の発生要因解析とその対策

Electrostatic Characteristics and its Prevention in the High Pressure Water Jet Cleaning using in the Semiconductor Wafer Process

プロジェクト代表者：荻窪光慈（教育学部・准教授）

Koji Ogikubo, Faculty of Education, Associate Professor

## 1. 緒言

CMP (Chemical Mechanical Polishing) において、高圧マイクロジェット洗浄技術 (High Pressure Micro Jet :HPMJ) はパッドのコンディショニングやポスト CMP 洗浄に広く適用されている[1]. HPMJ は、超純水を高圧で微粒化させ洗浄対象物に向かって噴射させるため静電気が発生し[2], 基板上的配線を破壊するなど、デバイスに悪影響を及ぼす可能性が考えられる。

本研究では、HPMJ 使用時に発生する静電気モデルを想定し、ファラデーケージを用いた実験系において圧力・距離・噴射角度・比抵抗値などの、各 HPMJ 使用条件での静電気特性の把握を行った。更に、HPMJ における静電気発生防止策について、CO<sub>2</sub> 水による比抵抗値の低下、並びにアンモニア水素水の適用等に注目して実験を行った。その結果から、CO<sub>2</sub> 水及びアンモニア水素水による静電気防止メカニズムについて考察し、静電気の防止策への指針が得られた。

## 2. HPMJ による静電気発生要因と防止対策検討

一般的に静電気は、物体間の摩擦、流体や粉末の流れなどの現象によって、小粒子が電子を失うことなどにより物体に発生する。HPMJ は、高圧ポンプで加圧された純水が配管内を通りノズルから噴射され、分裂された液滴が洗浄対象物に衝突する過程を経るために、静電気の発生が想定される。このことから、次の 4 項目が発生要因として考えられる。

- ①純水が配管内を移動する時の摩擦帯電
- ②純水がノズルから噴射される時の液滴の分裂帯電
- ③分裂した液滴の空気との摩擦帯電
- ④液滴と洗浄対象物との接触による摩擦帯電

本研究では、上記の要因分析を踏まえて HPMJ 使用時に発生する静電気特性を把握する。そして、CO<sub>2</sub> 水及び、純水を脱気したものに水素を溶解し、pH 調整のためにアンモニアを添加したアンモニア水素水を用いて、静電気防止効果について実験的検討を行う。

## 3. 実験方法および実験装置

本研究で使用した実験装置の構造モデルを図 1 に示す。ファラデーケージは、ステンレス製の外容器 (φ400mm×高さ 390mm) と内容器 (φ310mm×高さ 305mm) とからなる。容器同士をテフロン製の支柱で絶縁し、洗浄対象物も同素材の支柱で支え絶縁させ内容器の中央に設置する。また、内容器で発生した電荷の変化量は、エレクトロメーター (KEITHLEY6514) で測定し、オシロスコープ (Tektronix TDS3014) でその波形観測を行う。純水の比抵抗値は比抵抗測定器 (HORIBA TD930) で行い、その比抵抗値調整には、純水に炭酸ガスを混入させた CO<sub>2</sub> 水ならびにアルカリイオン水を用

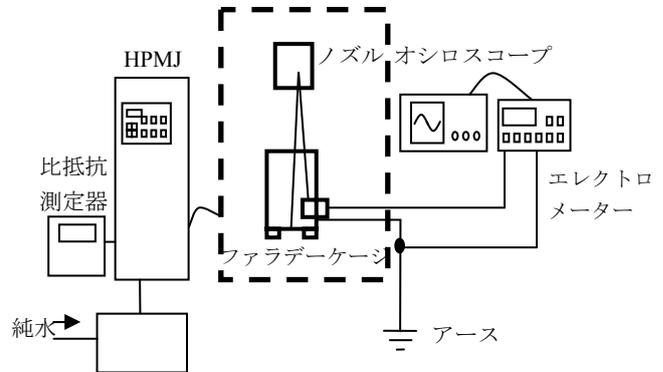


図 1 実験体系モデル図

いたアンモニア水素水を使用する。

表 1 に、各実験で使用した条件を示す。圧力、ノズルの噴射扇角度、噴射距離、純水の比抵抗値などは表中に示した範囲で変化させ実験を行った。本研究で用いた洗浄対象物は直径 8 インチの各種基板である。

表 1 実験条件

圧力	5, 6, 8, 10, 12 (MPa)
距離	50, 100, 150 (mm)
ノズルの噴射扇角度	15°, 25°, 40°, 65°
CO <sub>2</sub> 水の比抵抗値	0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 3.37 (MΩ・cm)
アンモニア水素水 pH 値	6.7, 8.0, 8.3, 9.5
洗浄対象物 (φ8")	ILD (Interlayer dielectrics) wafer, Cu disk, Cu wafer, Pad

## 4. 実験結果とその考察

### 4.1 静電気特性

図2に、距離 100mm、ノズルの噴射扇角度を 25°に固定した場合の各洗浄対象物に対する発生電荷量の圧力依存性と、シャドウ・ドップラ粒子解析装置 (SDPA) を用いて測定した位置 100mm での液滴の速度を示す。全ての洗浄対象物において、圧力の増加に伴い、発生電荷量が増加している。これは、圧力の上昇によって純水を送り出す速度が上昇し、前記した①及び②の要因がそれぞれ関連しているためと考えられる。また、ノズルの噴射扇角度 25°に固定した場合の各洗浄対象物に対する発生電荷量の距離依存性は、距離による差異が見られなかった。

また、図3に、距離 100mm に固定した場合の発生電荷量のノズル噴射角度依存性を示す。噴射角度が大きくなるほど発生電荷量は減少した。また噴射角度が大きくなるにつれて、噴射される純水液滴の速度は遅くなり、純水液滴の径は小さくなることから SDPA の測定結果から確認された。粒子の径に関しては、径が小さくなるほど表面積が大きくなり発生電荷量が増加すると考

えられるが、今回の実験条件では、粒子の速度が及ぼす影響力が径の影響力を上回ったと判断できる。

## 4.2 CO<sub>2</sub>水とアンモニア水素水の効果

比抵抗値と発生電荷量の関係を図4に示す。圧力を10MPa、噴射距離100mmに保ち、CO<sub>2</sub>を純水に溶解させCO<sub>2</sub>水にすることで比抵抗値を低下させ、洗浄対象物をパラメーターとして測定を行った。比抵抗値が小さくなると、単位時間当たりの発生電荷量が減少した。比抵抗値の高い超純水では非常に絶縁性が高いため、発生した静電気が移動できずに表面で固定され帯電すると考えられる。一方、純水にCO<sub>2</sub>を溶解し、液中に導電性をもつイオンを充満させ、比抵抗値を低下させると、静電気が帯電せず、発生電荷量が減少するものと考えられる。このことより、静電気の発生には、比抵抗値が大きく関係していることが分かる。

図5に、pH値を9.5に設定したアンモニア水素水の発生電荷量の測定結果を示す。通常、洗浄の行程で用いられるアンモニア水素水においても、発生電荷量を減少出来ることが分かった。これはアンモニア水素水が液中でイオン化することにより、比抵抗値を下げたためであると考えられる。

また図5に示すように、CO<sub>2</sub>、アンモニア水素水は静電気の防止に効果があることが分かった。

## 5. 結言

本研究では、CMPにおけるパッドのコンディショニングやポストCMP洗浄に使用される、HPMJの使用時に発生する静電気の発生要因を分析するとともに、CO<sub>2</sub>水及びアンモニア水素水の効果を確認し静電気防止策の検討を行った。

今回の検討で得られた結果を以下、要約する。

- 1). 発生電荷量の圧力依存性は圧力増加に伴い、増加する。
- 2). 発生電荷量の噴射距離依存性は見られない。
- 3). 発生電荷量の噴射角度依存性は、角度が大きくなるに伴い増加する。これは純水液滴の速度に関係する。
- 4). 純水の比抵抗値に対する発生電荷量は、比抵抗値の低下に伴い、減少する。
- 5). CO<sub>2</sub>水は静電気の発生量を減少する効果を持つ。またアンモニア水素水も静電気を著しく減少する効果を持つことが確認された。

## 参考文献

- [1] 清家善之, 他: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.
- [2] 浅野一明:純水の噴出帯電と衝突帯電, 静電気学会 24,1 (2000) 15-19.

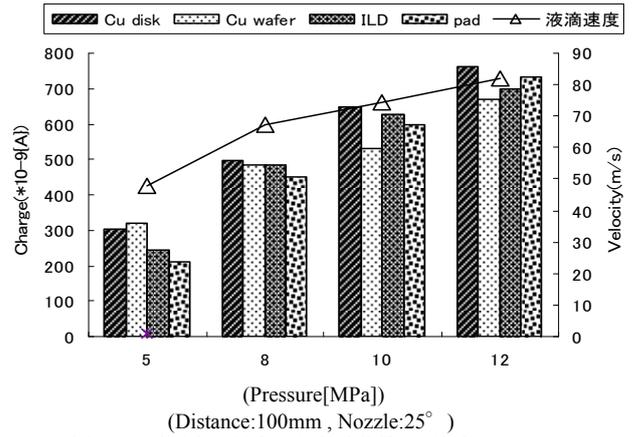


図2 噴射圧力に対する発生電荷量及び液滴の速度

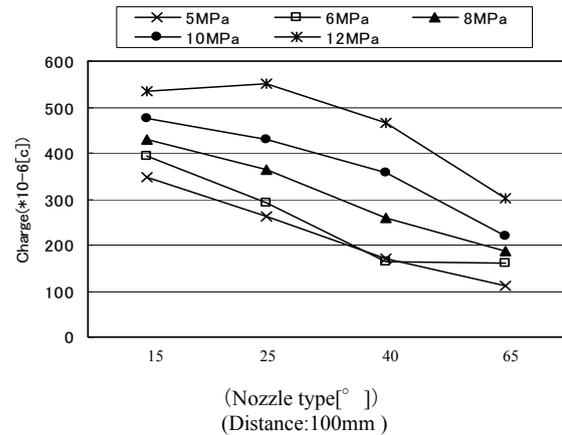


図3 噴射角度と圧力に対する発生電荷量の関係

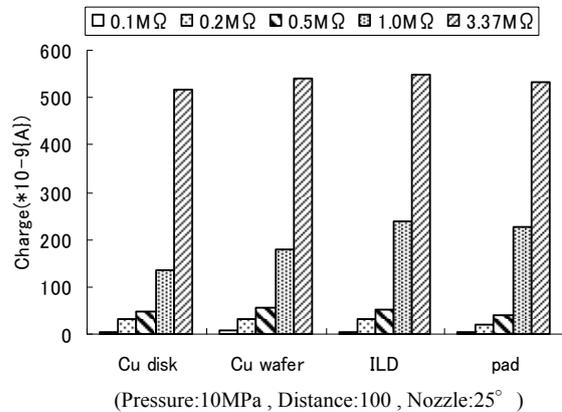


図4 洗浄対象物と比抵抗値における発生電荷量の関係

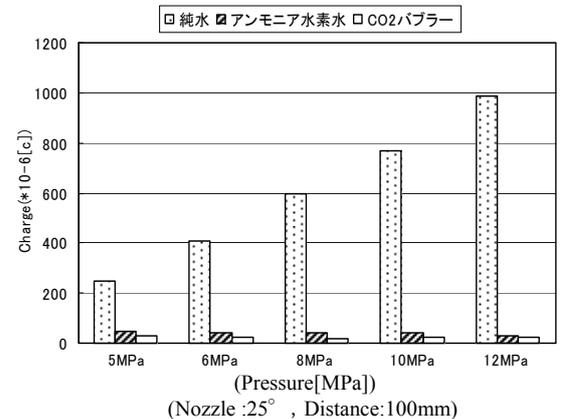


図5 噴射圧力と洗浄液における発生電荷量の関係