

# 電子デバイスの純水スプレー洗浄工程における 静電気発生防止技術の開発

[研究代表者] 清家善之 (工学部電気学科)

[共同研究者] 森 竜雄 (工学部電気学科)

瀬川大司、小林義典、宮地計二 (旭サナック(株))

## 研究成果の概要

半導体デバイスの製造工程において、シリコンウェハ基材上のナノメートルオーダーの異物除去の必要性から、製造工程の 1/3 は洗浄工程と言われている。半導体デバイスは 1 バッチ 25 枚の単位で、アンモニア水、過酸化水素水、塩酸等に加温した薬品に、順次浸漬させる RCA 洗浄方式が一般的であった。しかし最近では、環境負荷の低減や半導体のデバイスの多品種化によって枚葉式の洗浄が求められ、純水をスプレーして洗浄する工程が増えてきている。しかしこの洗浄方法は純水をスプレーする際に半導体デバイスに静電気障害(Electro Static Discharge: ESD)が生じる問題があり、静電気障害を防止するために純水に炭酸ガスを混入させ純水の伝導率を下げる方法で対策しているが、純度の高い純水に不純物を入れてしまうという問題点がある。これらの静電気障害の解明や対策は、生産現場での経験的に行われており、学術的な報告はまだ少ない。本研究は、スプレーした純水に電荷を与えることによって、スプレー中の静電気を減らし、スプレー洗浄工程での静電気障害を減らす取り組みである。この方法は純水を改質することなく、薬品を使う洗浄工程を減らすことができるため、地球環境負荷低減に大きく役立つものである。

平成 29 年度は、高圧ジェットスプレーで発生した電荷量を試作したファラデーケージで測定し、その特性を把握した。さらに高電圧を印加した誘導帯電素子を用いて静電気を防止する方法を見出したので報告した。平成 30 年度はフラットパネルディスプレイの洗浄向けに洗浄面積の広くした場合の静電気を測定した。令和元年度は、ノズルに電圧を印加し、噴射する純水の水素イオンの濃度を変化させて静電気を低減させた。さらに純水を加温させ、純水の比抵抗値を低下させることで噴射する純水の静電気を低減させた。さらにこれらの対策を組み合わせ、発生する静電気を測定した。また、本年度はファラデーケージの電圧を測定していたが、ファラデーケージからの電流値の測定も行った。

**研究分野：**電気電子材料、品質工学

**キーワード：**半導体デバイス、静電気障害、高圧スプレー、純水、ファラデーケージ、フラットパネルディスプレイ

## 1. 研究開始当初の背景

液晶パネルや有機 EL を代表するフラットパネルディスプレイ (FPD) は、スマートフォン、テレビ、カーナビなどに広く使われ、世の中で必要不可欠なものとなっている。FPD の製造はガラス基板上に各機能膜を積層製膜し、デバイスを形成するが、その前後工程には必ず洗浄工程が存在する。特に液晶テレビ用のマザーガラス基板であると、厚さ 0.3 mm から 0.7 mm で 3 メートル角という大きさである。その洗浄にはスプレーを扇形状に広げて、複数のノズ

ルを配置する方法が広く用いられている。しかしこの洗浄方法は純水をスプレーする際に半導体デバイスに静電気障害(Electro Static Discharge: ESD)を生じる問題があり、静電気障害を防止するために純水に炭酸ガスを混入させ純水の伝導率を下げる方法で対策しているが、純度の高い純水に不純物を入れてしまうという問題やコスト高の問題がある。これらの静電気障害の解明や対策は、生産現場で経験的に行われており、学術的な報告はまだ少ない。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、純水を高圧でスプレー洗浄する際に生じる静電気障害を防止するために、静電気の発生メカニズムを解明し、さらに純水の改質を行わない新たな静電気防止方法を見出すことである。本年度は実際にノズルに電圧を印加させイオン化させた純水を噴射する方法、純水を加温する方法、それらを組み合わせた方法において、静電気発生量を確認した。

## 3. 研究の方法

### (1) 実験システム

図1に高圧ジェットで噴霧した様子を示す。ノズルより扇状に噴霧されていることが分かる。前年度までの研究で、噴射した純水が微小液滴化する際に、静電気が発生することが分かってきた。



図1 高圧ジェットによる純水噴霧の様子

図2に実験で使用した実験システムを示す。静電気の発生メカニズムを解明するために高圧スプレーから発生する電荷量を調査した。イオン交換器で生成した純水を高圧ポンプ（旭サナック AF2800S）2 MPa から 10 MPa で加圧し、孔径 0.4 mm のノズルよりスプレーする。流量は噴射する圧力によって変化するが、10 MPa 時で 1.1 L/min である。静電気の測定はファラデーケージを用いた。測定用コンデンサには 1.5 $\mu$ F のセラミックコンデンサを使用した。

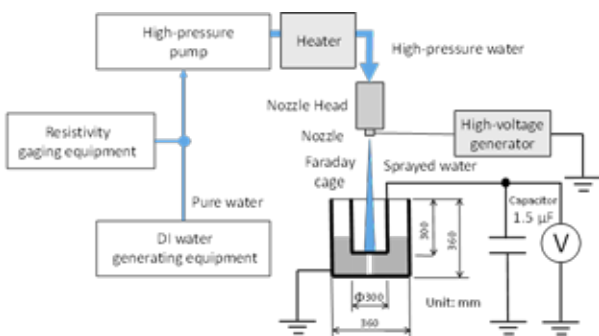


図2 静電気測定の実験システム

### (2) ノズルへの電圧印加による静電気防止

先の実験から純水をスプレーすると正極に帯電することが分かったので(H<sup>+</sup>リッチ)、スプレーする前に純水を負極に帯電させ、噴射する前の純水を OH<sup>-</sup>リッチすれば、スプレー後、電荷が中和し、発生電荷量が低減することを目論み、スプレーノズルに kV オーダーの負の電圧を高速・高圧アンプ電源 (Matsusada Precision Inc.) を用いて印加し、ファラデーケージで発生電荷量を測定した。ノズルは噴霧角度 65° のものを使用した。ノズルに印加する電圧は-1 kV から-10 kV とした。高圧スプレーの噴射圧力は、2 MPa から 10 MPa まで可変した。図3に実験結果を示す。各噴射圧力で印加電圧 0 kV から-10 kV の減少率を算出すると、約 30 から 40 %程度発生電荷を除去できていることが確認できた。以上のことからあらかじめ純水に負の電圧を印加することによって、静電気を防止することができることが分かった。

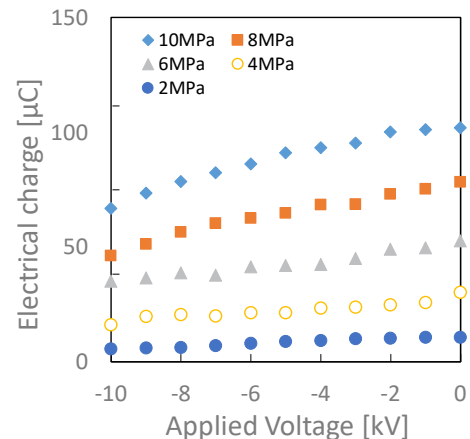


図3 スプレーノズルに負の電圧を印加した場合の発生電荷量

### (3) 純水加温による静電気防止

次に、純水を加温することによって、純水の導電率を上げて、発生電荷量を減少させることを目論み、純水をヒータ (Perfect Heater 旭サナック) で 30 °C から 80 °C まで純水を加温し、ファラデーケージで電荷量を測定した。純水の抵抗値を 17 M $\Omega$  · cm 以上とし、スプレー距離は 200 mm 一定とし、ノズルは噴射角度 65° のものを使用した。噴射圧力は 10 MPa で行った。

測定結果を図4に示す。純水を加温した際、純水の温度が 50°C を超えたあたりから発生電荷が減少することを確認した。噴射圧力 10 MPa 時、純水の温度を 80°C まで可変させた際の発生電荷量は 32.2% 減少した。この現象は、純

水の水温を上昇させることで比抵抗値が減少することから純水の温度の上昇とともに電気伝導率が上昇する。これは、純水の温度の上昇とともに電離定数が大きくなるため、純水内でおきる電離が増加し電気伝導率が増加したため発生電荷が減少したと考える。

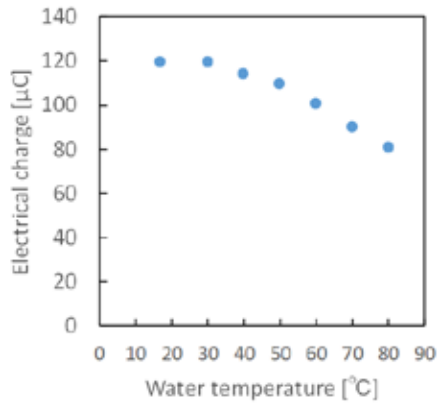


図4 純水を加温した場合の発生電荷量

(3) ノズルへの電圧印加と純水加温の複合による静電気防止

ノズルへ負の電圧を印加する方法と、純水を加温しノズルより噴霧する方法を組み合わせ発生電荷量の減少を確認した。図2に示す実験システムで、純水を常温の状態及び40℃から80℃まで加温し、さらにノズルへ-1kVから-10kVまでの電圧を印加した。実験結果を図5に示す。各温度において、印過電圧が小さくなるにつれて発生電荷量が減少している。純水の温度を常温、印加電圧を0kVである場合と比較して、純水の温度を80℃、印加電圧を-10kVとした場合において87%の帯電量減少が確認でき

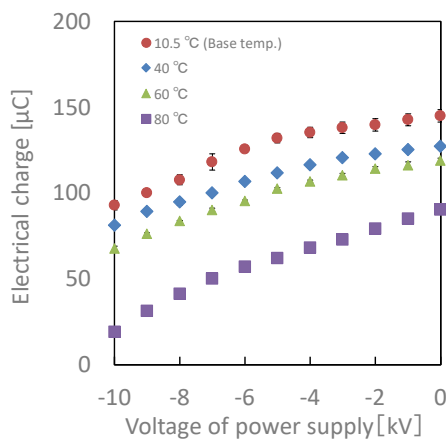


図5 ノズルへ電圧を印加し、純水を加温して噴射した時の発生電荷量

た。負の電圧を印加した場合と純水を加温した場合のそれぞれの方法を足し合わせた場合、上記2つの方法の効果に加え相乗効果が生じていると考える。この現象は、純水の温度を上昇させ、負の電荷を純水に印加したことで、純水のポテンシャルエネルギーが減少し、純水のイオン化が進んだと考えられる。

#### 4. 研究成果

本報告では、高圧スプレー洗浄時に生じるESDの課題について取り上げ、実験によって高圧スプレーから発生電荷量をファラデーケージで測定した。静電気対策の方法として、純水に直接負の電圧を印加しスプレーする方法および純水を加温しスプレーを行う方法を考案した。また、その両方を組み合わせることによって対策を行った。その結果以下の成果が得られた。

- (1) ノズルに負の電圧を印加すると発生電荷が減少した。
- (2) 純水を加温した場合、水温が50℃を超えたあたりから発生電荷が減少を始めた。
- (3) ノズルへの負電圧印加と純水の加温を組み合わせることで、それぞれの相乗効果がさらに発生電荷が減少した。

#### 5. 本研究に関する発表

- (1) 福岡靖晃, 日比野慎也, 大野雄矢, 森 竜雄, 瀬川大司, 小林義典, 宮地計二, 清家善之, 逆電圧印加による高圧スプレー洗浄時の発生電荷の低減, 応用物理学会 界面ナノ電子化学研究会(INE) 第5回ポスター展, 2020年3月.
- (2) 福岡靖晃, 日比野慎也, 大野雄矢, 森竜雄, 瀬川大司, 小林義典, 宮地計二, 清家善之: フラットパネルディスプレイ製造中の純水スプレー洗浄における静電気障害の対策, 29th RCJ信頼性シンポジウム, 2019年11月.
- (3) 清家善之, 多様化する電子デバイスの物理洗浄 ～スプレー洗浄の有用性とその課題～, 応用物理学会秋季学術講演会, (2019).
- (4) 瀬川大司, 小林義典, 清家善之, 液体噴射装置、および液体噴射方法, 日本国特許出願.
- (5) Y. Seike, T. Ogawa, Y. Ishida, Y. Kobayashi, T. Segawa, K. Miyachi, T.Mori, Electrostatic discharge prevention in ultra-pure water spray cleaning aimed at CFM, Advanced Semiconductor Manufacturing Conference (ASMC) 2019, Saratoga Springs, New York, (2019).