

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 (旭サナック株式会社)

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。また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。

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製膜し、積層するが、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 から 0.7mm 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点がある。また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方法を見出すことである。

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。また純水を微小液滴下しているの、静電気が発生することが知られている。

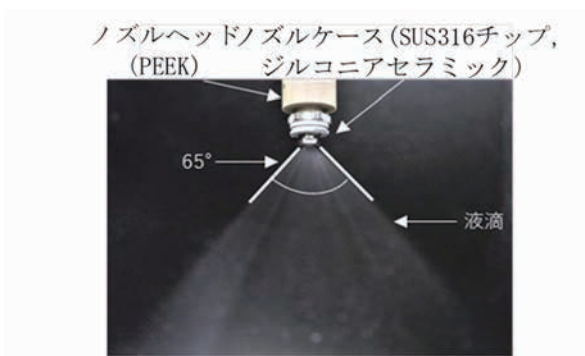


図1 高圧ジェットによる純水噴霧の様子

図2に今回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（野村マイクロ・サイエンス TW-S100-JSO）で生成した純水を高圧ポンプ（旭サナック AF2800S）2~10MPaで加圧し、孔径0.4mmのノズルよりスプレーする。ノズルは楕円状になっており、その扁平率で噴霧扇角度を変えることができる。流量は噴

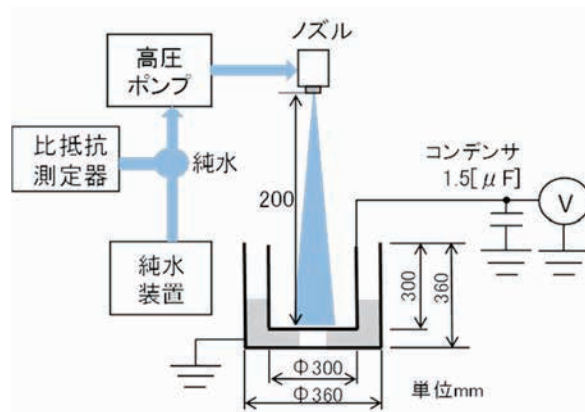


図2 静電気測定の実験システム

射する圧力によって変化するが、10MPa時で1.1L/minである。今回の実験では噴霧扇角度を40°、65°、80°の3水準とした。電荷を収集するためのファラデーケージは大小二つのステンレスのポットを用いて試作した。測定用コンデンサには1.5μFのセラミックコンデンサを使用した。ファラデーケージの容器間電圧 $v(t)$ は式1で示すことができる。

$$C \left(\frac{dv(t)}{dt} \right) + \frac{V(t)}{R} = I_s \quad (1)$$

ここでCはファラデーケージの静電容量、Rはファラデーケージの並列抵抗値、 I_s はアースへ流れる電流である。微分方程式を解くと式2のようになる。今回は飽和した電圧を測定した。

$$v(t) = RI_c \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) \right\} \quad (2)$$

(2) 実験結果

図3に噴射圧力に対する発生電荷量を示す。発生した電荷はいずれの場合でも正極であった。各扇角度ともに圧力を上げることによって、発生電荷量が大きくなっていることが分かる。また扇角度が広くなるにつれて発生電荷量が大きくなっている。発生電荷の起因については、別の実験により純水が霧化する際の帯電分裂が支配的であることを確認している。またストレートは昨年度測定した結果であるが、10MPaで比べると、1/15程度になっている。こ

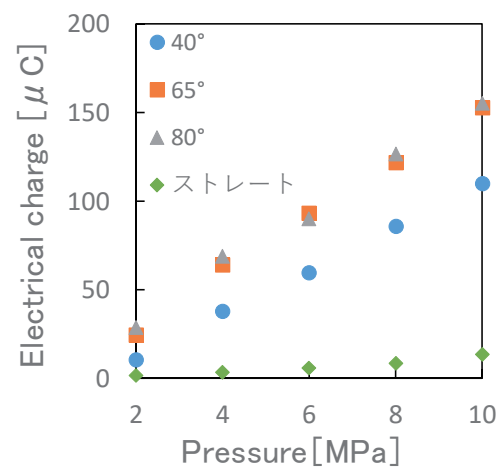


図3 噴射圧力に対する発生静電荷量

これはストレートジェットの場合は流量が50mL/min程度で、霧化していないために発生した静電気が少ないと考えている。

次に飛行液滴特性に対する発生電荷量を調査した。飛行液滴特性はシャドー・ドップラー・パーティクルアナライザーで測定を行った。図4は各噴霧角度において、平均飛行液滴速度に対する発生電荷量を示す。速度が速くなるにつれて発生電荷量が大きくなる。図5は平均飛行液滴サイズに対する発生電荷量を示す。液滴サイズが小さくなるほど、発生電荷量が大きくなること分かる。飛行液滴速度が速く、液滴径が小さい、つまり洗浄力が高い液滴の条件時に発生電荷量が高いという傾向にあり、静電気障害が起きやすいことを示唆している。

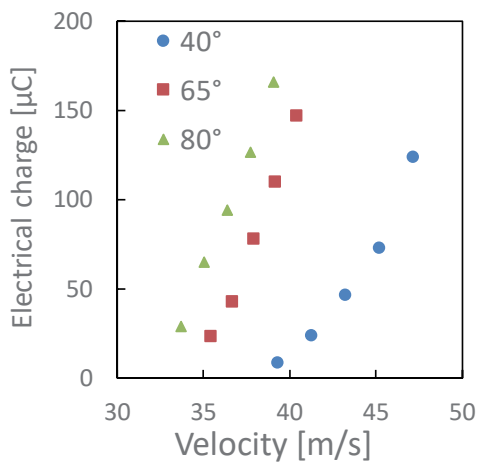


図4 平均飛行液滴速度に対する発生電荷量

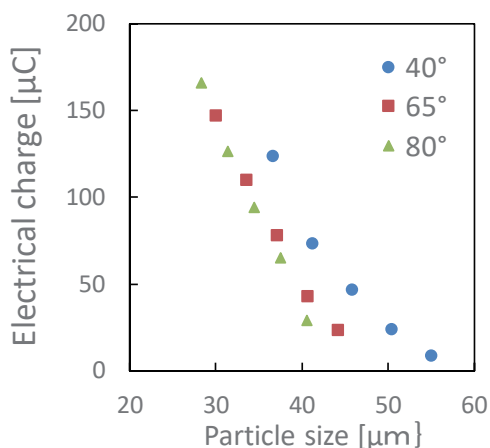


図5 平均飛行液滴サイズに対する発生電荷量

4. 研究成果

本研究では、フラットパネルディスプレイの製造工程中のスプレー洗浄時に生じる静電気障害問題について取り

上げ、試作したファラデーケージを用いて発生電荷量を測定した。また本論では詳細を述べることができなかつたが、その対策方法についても考案し、実験によって確かめることができている。

5. 本研究に関する発表

(1) Yoshiyuki Seike, Takanari Ogawa, Yusuke Ishida, Yoshinori Kobayashi, Taishi Segawa, Keiji Miyachi, Tatsuo Mori, Electrostatic discharge prevention in ultra-pure water spray cleaning aimed at CFM, Advanced Semiconductor Manufacturing Conference (ASMC) 2019, Saratoga Springs, New York, (2019).

(2) 瀬川大司, 小川貴成, 石田優介, 小林義典, 宮地計二, 森 竜雄, 清家善之, 高圧マイクロジェット洗浄における帯電防止技術, 応用物理学会 界面ナノ電子化学研究会(INE) 第4回ポスター展, 慶応大学日吉キャンパス(神奈川), 2019年03月.

(3) 石田優介, 小川貴成, 瀬川大司, 小林義典, 宮地計二, 森 竜雄, 清家善之, 高圧スプレー洗浄における静電気障害の対策, 電子情報通信学会東海支部卒業研究発表会, 2019年03月.

(4) 電子デバイスの純水スプレー洗浄時の静電気障害対策 第2報 一流体スプレーの噴霧の違いによる影響評価, 小川貴成, 石田優介, 森竜雄, 瀬川大司, 小林義典, 宮地計二, 清家善之, 第28回RCJ信頼性シンポジウム, 大田区産業プラザ(東京), 2018年11月.

(5) 清家善之, 電子デバイス製造プロセスにおけるスプレー洗浄技術, 砥粒加工学会 研磨の基礎科学とイノベーション化専門委員会(KENMA 研究会) 第11回研究会, 金沢工業大学 虎ノ門キャンパス, 東京, 2018年07月.

(6) 清家善之, 小林義典, 宮地計二, 甘利昌彦日本国特許, 洗浄装置及び洗浄方法, 特願2017-111501.

(7) Shogo Miyagawa, Hayato Watanabe, Taishi Segawa, Taishi Segawa, Yoshinori Kobayashi, Keiji Miyachi, Tatsuo Mori, Yoshiyuki Seike, Static Electric Preventing at the Spray Cleaning in the Electrical Device Manufacturing, International Workshop on Green Energy System and Device (IWGESD2017), P-26, (2017).

他8件