

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)

Eze Vincent Obiozo (総合技術研究所)

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

半導体デバイスは、スマートフォンやテレビなどの情報通信機器、エアコン、冷蔵庫などの家電製品、自動車など暮らしを支える多くの製品に必要な電子部品である。この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、塩酸等に温度をかけた薬品に、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)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、生産現場の経験的に行われていて、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場を与え、純水から発生する静電気を減らし、半導体デバイス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。

本年度、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測定し、その特性を把握し、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する。

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、誘導帯電素子

1. 研究開始当初の背景

半導体デバイスは、スマートフォンやテレビなどの情報通信機器、エアコン、冷蔵庫などの家電製品、自動車など暮らしを支える多くの製品に必要な電子部品である。この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。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)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、生産現場の経験的に行われていて、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、純水の高圧スプレー洗浄時に生じる静電気障害(ESD)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) 発生電荷量測定

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で 5MPa に加圧し、孔径 0.1mm のノズルよりスプレーする。図 1 のようにノズルからスプレーされた純水は約 100mm まで直線であり、それ以降パターン幅が若干広がっていく。今回、スプレーした液滴と発生電荷量の関連を確認するためにあらかじめ高速度スピードカメラ(キーエンス VW-9000)で液滴を測定し、液滴の径と速度を把握した。

図 2 に今回実験で使用した実験システムを示す。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。ファラデーケージの静電容量は LCR メータ (エヌエフ回路設計ブロック ZM2371) で測定したところ 35pF であった。この値を用いてファラデーケージで測定した電位差から電荷量へ変換する。実験は圧力を 1MPa から 5MPa、純水の比抵抗値を 17.4MΩ・cm で行った。スプレー距離は 100mm 一定とした。

図 3 に純水のスプレー圧力を変化させ、ファラデーケージに溜まった電荷量を示す。発生電荷量はファラデーケージ間の電圧を読み取り、ファラデーケージの静電容



図 1 噴射の様子

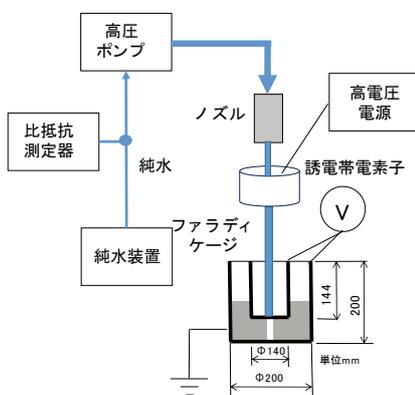


図 2 静電気測定の実験システム

量から電荷量に換算している。圧力が上がるにつれて、発生電荷量が pC のオーダーで比例して増加している。発生要因まではまだわかっていないが、他の確認実験より、純水がノズル内で摩擦する流動帯電では負極の帯電がされ、またノズルから噴霧直後に生じる液滴生成時の分裂帯電では、正極の帯電がされていると推測している。また今回のケースでは、液滴の分裂帯電の方がノズル内での流動帯電よりも支配的と考えている。

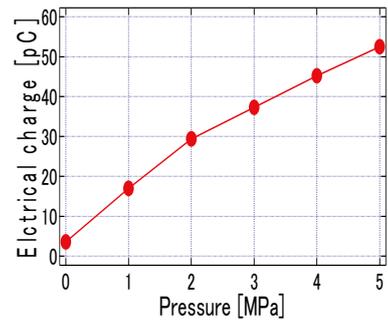


図 3 噴射圧力に対する発生電荷量

(2) 誘導帯電素子を用いた静電気発生防止

高圧ジェットで純水をスプレーすると静電気が生じ、電子デバイスに静電気障害が生じる可能性を持つことを示した。半導体デバイスメーカーはこの対策として炭酸ガスを純水に混入させる方法等をとっているが、根本的な対策でなく、純水を改質しない新たな方法が求められている。今回、スプレーする純水に高電圧を印加した誘導帯電素子で、帯電した液滴に誘導帯電させて静電気を除去させる方法を発案し、実験でその効果を確認した。

図 2 に示す実験システム図において、内径 40mm の円筒形のポリアセタール樹脂内部にアルミ電極を形成した誘導帯電素子 (図 4) に高電圧電源(松定プレジジョン HEOPS-10B2)で 0 から 20kV の電圧を印加し、その内部にスプレーした純水を通過させて、純水の液滴に誘導帯電させた。



図 4 試作した誘導帯電素子

スプレーした純水の電荷量の測定は、スプレーした下部に試作したファラデーケージを設置して行った。スプレーは直径 0.1mm のオリフィスよりストレート状にスプレーする一流体方式で、流量は 50ml/min (噴射圧力 5MPa) である。純水の比抵抗は $10 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$ であった。

図 5 は、電圧印加素子に 0 から 20kV の電圧を印加した時の発生電荷量の変化を表したものである。この図より電圧印加素子に正の高電圧を印加すると発生電荷量を減少させることがわかった。また、15kV 以降、発生電荷量が増加した。実験を行っているとき印加電圧が 15kV 以降の条件では、放電現象を確認し、絶縁破壊を起こしたために見かけ上の発生電荷が大きくなった。

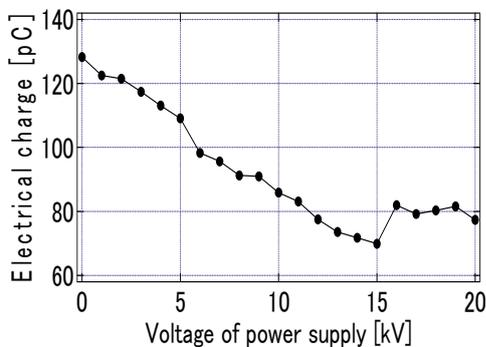


図 5 電圧印加素子に印加した電圧に対する発生電荷量

4. 研究成果

本研究では、電子デバイスの純水によるスプレー洗浄時に生じる静電気障害 (ESD) 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。そして静電気障害の対策として、スプレーする純水に高電圧を印加した誘導帯電素子で、帯電した液滴に誘導帯電させて静電気を除去させる方法を発案し、実験で以下の効果を確かめた。

- (1) 純水スプレー洗浄においては、高圧でスプレーした場合の方が、発生電荷量が多くなる。静電気の発生個所はノズルからスプレーされた分裂帯電による影響が大きいと推測される。
- (2) 純水がノズル内で摩擦する流動帯電では負極の帯電がされ、またスプレーの分裂帯電では、正極の帯電がされていると推測している。
- (3) 誘導帯電素子に正の電圧を印加することで、各圧力において、発生電荷量が比例して減少する。

5. 本研究に関する発表

- (1) 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.
- (2) Shogo Miyagawa, Hayato Watanabe, Taishi Segawa, Taishi Segawa, Yoshinori Kobayashi, Keiji Miyachi, Tatso 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).
- (3) 清家善之, 渡辺隼人, 宮川将吾, 森 竜雄, 瀬川大司, 小林義典, 宮地計二, 甘利昌彦: 誘導帯電を利用した半導体デバイスの純水スプレー洗浄の静電気障害対策～第 2 報 誘導帯電素子の位置および形状に関する検討～, 第 65 回応用物理学会春季学術講演会, (2018), 18a-B301-10.
- (4) 渡辺隼人, 宮川奨吾, 丹菊大輝, 森竜雄, 清家善之: 電子デバイス製造におけるスプレー洗浄時の静電気対策, 応用物理学会 界面ナノ電子化学研究会(INE) 第 3 回ポスター展, (2018).
- (5) 瀬川大司: HPMJ で発生する静電気障害に関する研究, 旭サナック株式会社 2018 アサヒエンジニア大会, (2018).
- (6) 清家善之: 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 27 回 RCJ 信頼性シンポジウム発表論文集, 27E-11, p.p.100, (2017).
- (7) 清家善之, 丹菊大輝, 小林義典, 宮地計二, 甘利昌彦, 森竜雄: 誘導帯電を利用した半導体デバイスの純水スプレー洗浄の静電気対策, 第 65 回応用物理学会春季学術講演会, (2017) 8p-A411-7.
- (8) 清家善之, 丹菊大輝, 森 竜雄, 小林義典, 宮地計二, 甘利昌彦: 純水噴霧洗浄における静電気発生要因とその対策, 2017 年電子情報通信学会ソサエティ大会, C-10-1.
- (9) 清家善之, 松岡博幸, 松木慎悟, 丹菊大輝, 森 竜雄: 純水噴霧洗浄における静電気発生要因の解析, 電子情報通信学会 2017 年総合大会, C-10-1.
- (10) 松岡博幸, 松木慎悟, 丹菊大輝, 森 竜雄, 清家善之, 小林義典, 宮地計二: 電子デバイス製造におけるスプレー洗浄時の静電気計測, 平成 29 年電気学会全国大会, 1-043.