

半導体デバイス洗浄における機械学習を用いた 静電気障害の予知技術の確立

[研究代表者] 清家善之 (工学部電気学科)

[共同研究者] 森 竜雄、一野裕亮 (工学部電気学科)

瀬川大司、加藤幹大、宮地計二 (旭サナック株)

研究成果の概要

液晶や有機 EL デバイスを用いたフラットディスプレイパネル(FPD)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不可欠となっている。FPD の製造は最大 3 メートル角のマザー基板上に回路を形成するが、そのプロセスには多くの洗浄工程があり、基板サイズが大きいことから枚葉式洗浄が行われている。そのため純水を 3MPa から 20MPa で加圧噴射させる高圧スプレーでの洗浄は異物除去として広く使われている。しかしこの洗浄方法は純水を高圧スプレーする際に基板上の回路に静電気障害(ESD: Electro static discharge)を生じさせる課題がある。この静電気障害を防止するために、純水に炭酸ガス(CO₂)を注入させる方法や、純水に微量のアンモニアを添加させ電気分解させたアンモニア水素水を用いて、純水の伝導率を下げる方法で対策している。しかし、純度の高い純水に不純物を入れてしまうという問題がある。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基づいて行われていて学術的な報告はまだ少ない。

我々は現在までに高圧スプレーで洗浄する際に生じる静電気障害は、ノズルから噴射する純水の液滴の挙動に大きく起因することを解明してきた。同時に静電気を発生させる要因は一つだけでなく、純水の温度、純水の導電率、ノズルの種類など、多くの要因に起因することを確認した。さらに静電気障害を防止するために、純水を加熱し、純水に負の高電圧を印加することで、高圧スプレーから発生する電荷量を制御できることを明らかにした。本年度は、高圧スプレーのノズル直近の噴霧波形を高速ビデオカメラで撮影し、飛行液滴の特徴と発生する静電気の関係を見極めるとともに深層学習を用いて噴射圧力を予知する手法を確立した

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。また最近では生産現場に多くの AI 技術が導入されている。

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、高圧スプレーのノズル直近の噴霧波形を高速度ビデオカメラで撮影し、飛行液滴の特徴と発生する静電気の関係を見極めるとともに深層学習を用いて噴射圧力を予知する手法を確立した。

3. 研究の方法

図 1 に深層学習をおこなうために構築した高速度ビデオカメラによる噴霧波形観測システムを示す。このシステムは噴霧液滴の様子を高速度ビデオカメラ (Photron FASTCAM Mini AX200) で撮影し、解析するものである。光量を確保するために、LED ファイバー照明 (120W) を噴霧液滴越しに設置する。高圧スプレーは 3MPa から 10MPa の圧力で噴霧する。ノズル直近の噴霧波形をシャッター速度 1/950,000 秒、撮影速度 76,500 fps、解像度:128×128 ピクセルで撮影した。また深層学習には MATLAB を用いた。

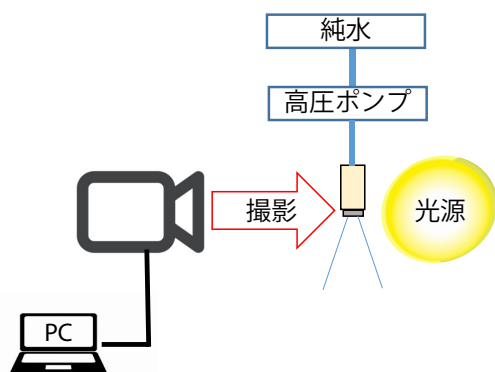
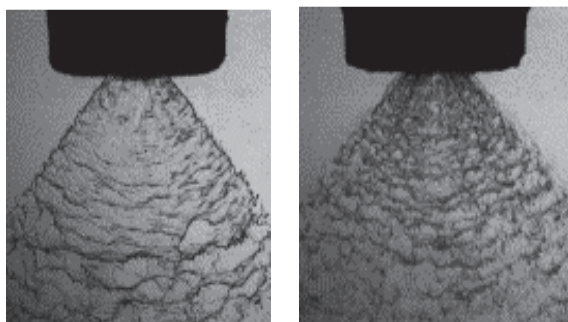


図 1 高速度ビデオカメラによる噴霧波形観測システム



(a) 1MPa

(b) 5MPa

図 2 ノズル直近の波形

4. 研究成果

(1) 噴霧波形観測

図 2 に圧力 1MPa と 5MPa の高速度ビデオカメラで撮影したノズル直近の噴霧の波形観測結果を示す。圧力 1MPa から 5MPa に変化させた場合、液膜 1 つの疎の部分の面積は $0.026 \text{ mm}^2/\mu\text{s}$ から $0.018 \text{ mm}^2/\mu\text{s}$ へ狭い方へシフトした。圧力が高くなると静電気量が増加することは我々の研究で分かっているため、この現象は単位時間あたりの微粒化が速いと静電気量が増すことを意味している。ただし、静電気の主要要因がノズル内部での摩擦帯電によるものか、液滴の分裂帯電によるものかは不明である。

(2) 深層学習による噴射圧力の予知

図 3 に撮影した噴霧波形より深層学習を行ったコンフィジションチャートを示す。18,000 画像の予測を行ったが、99.995%の正解率であった。画像より圧力を予測すれば、静電気量も把握することができる。

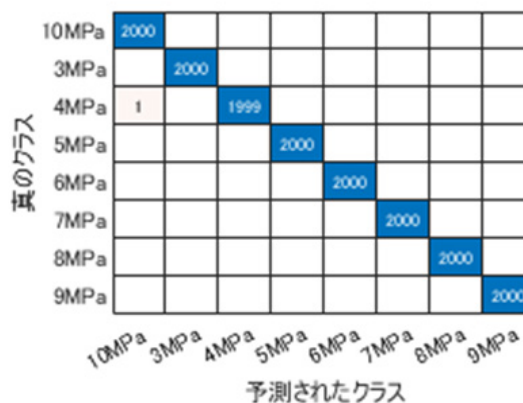


図 3 撮影した噴霧波形より深層学習し、検証を行ったコンフィジションチャート

5. 本研究に関する発表

1. 福岡靖晃他, 静電気学会誌, 46(1) 8- 13, (2022).
 2. 鈴木洋陽他, 静電気学会誌. 46(1), 38- 43, (2022).
 3. 福岡靖晃他, 第 31 回 RCJ 信頼性シンポジウム発表論文集, pp.25-28. 2021/10/21
 4. 福岡靖晃他, 応用物理学会界面ナノ電子化学研究会 第 6 回ポスター発表会, 13. 2021/10/14
 5. 福岡靖晃他 静電気学会全国大会, 22pA-13. 2021/9/21
 6. Y. Seike et al., Electrical Overstress / Electrostatic Discharge Symposium Proceedings 2020, pp.215-220, (2020).
- 他 発表 14 件