

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、一野祐亮（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ため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課題がある。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度ビデオカメラで撮影し深層学習する手法と、令和 2 年度で行った機械学習での静電気量の推定法と結びつけて、高速度ビデオカメラの画像から、深層学習と以前測定した電流値から静電気量を推測する方法を確立した。

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、回帰機械学習、深層学習

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)を生じる課題があり、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課題やコスト高の課題がある。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。

本プロジェクト研究において、令和 2 年度は高圧スプレー洗浄装置にセンサを複数設置し、センサからのデータを

用いて機械学習を用いて発生する静電気を推測について行い、令和3年度は高圧スプレーの様子を高速度ビデオカメラで撮影し、その画像から噴深層学習を用いて噴射圧力を予知する手法を確立した。

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。本研究は、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、その画像データを用いて深層学習する手法と、機械学習での静電気の推測する方法を結びつけて、静電気を推測する方法を確立した。

3. 研究の方法

実験の手順は①高速度ビデオカメラで画像観測、②深層学習による噴射圧力の推測、③噴射圧力値の推測データから、発生する電流値を推測、④モデルの作成、⑤検証の順で行う。

4. 研究成果

(1) 噴霧波形観測

図1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。この波形より、発生する静電気を推測する。

(2) 発生電流値の推測

図2に今回の作成したモデルで、高速度ビデオカメラで撮影した画像より、高圧スプレーで発生する電流値を示す。横軸は設定した高圧スプレーの圧力、縦軸は高圧スプレー

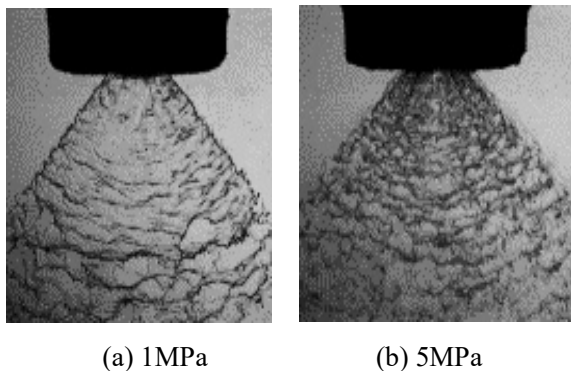


図1 高圧スプレーのノズル直近の波形

で発生する静電気を電流で示している。図2より、それぞれの圧力に対する予測値を決定係数 R^2 で確認している。その結果、圧力ごとの決定係数 R^2 は0.215から0.665の範囲であった。また圧力が高いほど、決定係数 R^2 が小さくなり、ばらつきが大きくなる傾向にあった。これは噴射圧力が高くなるほど、画像がブレ深層学習の精度が落ちるとともに、電流値のばらつきが大きくなるためである。以上本研究では高速度ビデオカメラで撮影した二流体スプレーから発生する静電気を推定できることを確認した。

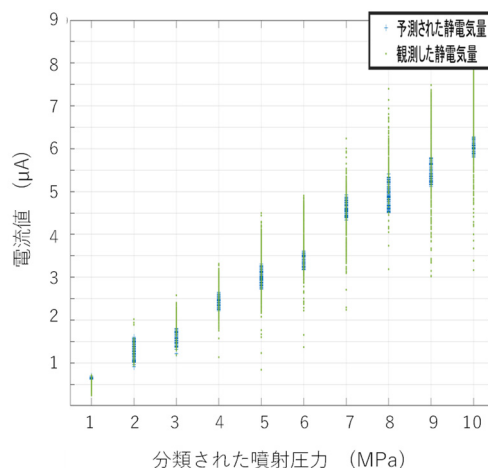


図2 高速度ビデオカメラから得られた画像から深層学習と回帰機械学習で分析した予測値と実測値の比較

5. 本研究に関する発表

- (1) Y Seike et al., The 9th Annual World Congress of Advanced Materials (WCAM-2023), 203-3.(2023)
 - (2) 鈴木洋陽他, 静電気学会誌. 47(3), (2023).
 - (3) Y. Seike et. al., International Symposium on Non-thermal Plasma Technology and International Symposium on Electrohydrodynamics (ISNTP-12/ISEHD 2022), O-60.
 - (4) 福岡靖晃他, 静電気学会誌, 46(1) 8- 13, (2022).
 - (5) 鈴木洋陽他, 静電気学会誌. 46(1), 38- 43, (2022).
 - (6) 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)
 - (7) 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).
 - (8) 福岡靖晃他 静電気学会全国大会, 22pA-13 (2021).
 - (9) Y. Seike et al., Electrical Overstress / Electrostatic Discharge Symposium Proceedings 2020, pp.215-220, (2020).
- 他 発表 20 件