

# 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 (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

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(CO<sub>2</sub>)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す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、純水を加温し、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。今回、機械学習を用いて高圧スプレー洗浄における静電気障害の予知技術について取り組む。本技術を確立すれば世界で初めて、AIを用いた静電気の発生状況を予知し、ノズルへの高電圧印加や最適な炭酸ガスの注入によって静電気障害を防止することができ、世界の FPD 製造プロセスに大きな飛躍をもたらすものになる。今年度は高圧スプレーで発生する静電気測定システムの各部にセンサを取り付け、多変量で測定できるようにし、実際に機械学習を用いて予知を行った。

**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 に機械学習をおこなうため構築した多変量測定可能な静電気測定システムを示す。入力は、噴射圧力、水温、純水の比抵抗値、純水の圧力、比抵抗値および静電気を制御するためにノズルに印加した高電圧の 6 水準であり、出力はファラデーケージから流れる電流値である。機械学習は MATLAB 社が提供する回帰学習のアルゴリズムで行った。学習アルゴリズムは線形回帰、回帰木、サポートベクターマシン (SVM)、アンサンブル、ガウス過程回帰の 5 種で行った。また学習データをデータの 8 割、検証用データを 2 割とした。

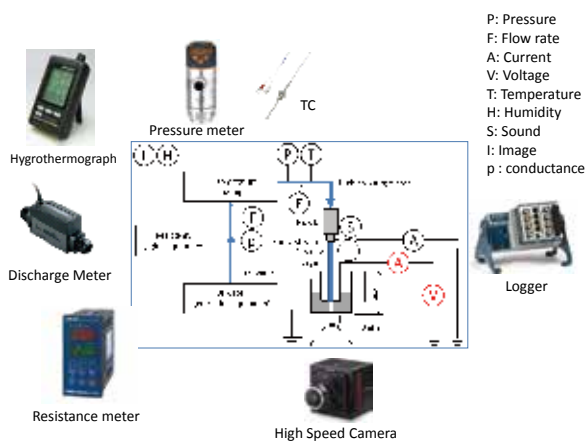


図 1 構築した多変量測定可能な静電気測定システム

## 4. 研究成果

図 2 は一例として、アンサンブルアルゴリズムを使って機械学習を行い、噴射圧力に対する予測値と検証用データを比較した結果である。機械学習で得られたモデルをもとにした予測値と検証用データの二乗平均平方誤差(RMSE)は、 $0.356\mu\text{A}$  で、決定係数  $R^2$  は 0.98 であり、高い精度で予測することができた。予測値の誤差を小さくするには、

ポンプの改良による圧力変動の低減や純水の比抵抗値や温度の安定性を向上させる必要がある。今後、トレーニングデータを増し、モデルの精度を向上させる。またこのモデルを FPGA 等に搭載して、静電気障害の予知予防を行うシステムを構築する。

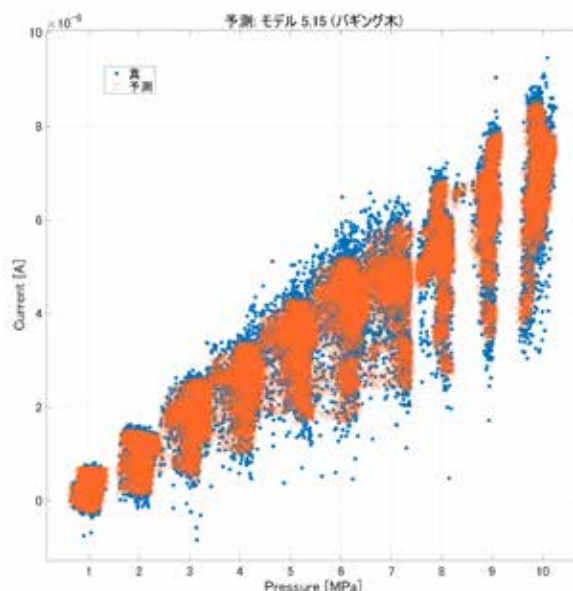


図 2 回帰木で機械学習を行った場合の予測値と検証用データとの比較

## 5. 本研究に関する発表

- (1) Yoshiyuki Seike, Yasuaki Fukuoka, Tatsuo Mori, Taishi Segawa, Yoshinori Kobayashi, Keiji Miyachi ; " Clarification and Countermeasures of Electrostatic Discharge in High-Pressure Spray Cleaning During Flat-Panel Display Manufacturing" , Electrical Overstress / Electrostatic Discharge Symposium Proceedings 2020, pp.215-220, (2020).
  - (2) 福岡靖晃, 原田翔太, 日比信利, 綿貫裕太, 森 竜雄, 瀬川大司, 小林義典, 宮地計二, 清家善之: 純水の高圧噴霧における帯電特性, 電気学会 全国大会, 1-048. 2021/3/9
  - (3) 瀬川大司, 小林義典, 宮地計二, 福岡靖晃, 清家善之: 超高圧スプレー洗浄の多因子解析による帯電メカニズムの考察, 界面ナノ電子化学研究会フォーラム 2020 Web、(2020).
  - (4) 福岡靖晃, 原田翔太, 日比信利, 綿貫裕太, 森竜雄, 瀬川大司, 小林義典, 宮地計二, 清家善之:多変量解析を用いた高圧スプレー洗浄時の静電気発生の要因, RCJ 信頼性シンポジウム, (2020).
- 他 1 件