

半導体デバイス製造プロセスにおける静電気障害防止技術の確立

[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)

研究成果の概要

半導体・デジタル産業戦略検討会議によると「半導体は、5G・ビッグデータ・AI・IoT・自動運転・ロボティクス・スマートシティ・DX等のデジタル社会を支える重要基盤であり、安全保障にも直結する死活的に重要な戦略技術」と位置づけられており、半導体は我が国の最も重要な技術の一つである。半導体製造はフォトリソグラフィ工程、イオン打込み工程、エッチング工程、平坦化工程等数多くの工程を繰り返し行われるが、洗浄工程はいずれの工程の前後にも存在し、半導体製造プロセスの1/3は洗浄工程と言われている。この洗浄工程は、ウェハと呼ばれるシリコン基材上のナノメートルオーダーの異物（パーティクル）を除去するもので、1バッチ25枚のフープ（カセット）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。しかしながら純水をスプレーして洗浄する場合、純水が絶縁体であるため静電気障害（ESD: Electrostatic discharge）が生じる課題がある。従来、このような帯電、放電現象による静電気障害の対策は経験的に行われ、要因を解明し、体系化することが難しかった。本研究では半導体デバイス製造のウェットプロセスにおける帯電・放電現象の要因を解明し、静電気の抑制技術の実用化が目標である。

本研究の主要テーマは「①二流体スプレー洗浄における帯電現象の解析と静電気防止技術」「②誘導帯電を利用した純水中の電荷制御技術」「③ウェハ表面の帯電分布計測とESD防止技術」「④AIの用いた静電気障害防止技術」であり、本年度、二流体スプレー洗浄における静電気防止技術を確立したので報告する。

研究分野: 電気電子材料学、電子デバイス製造プロセス、品質工学

キーワード: 半導体デバイス、二流体スプレー、静電障害、誘導帯電素子、帯電分布

1. 研究開始当初の背景

半導体・デジタル産業戦略検討会議によると「半導体は、5G・ビッグデータ・AI・IoT・自動運転・ロボティクス・スマートシティ・DX等のデジタル社会を支える重要基盤であり、安全保障にも直結する死活的に重要な戦略技術」と位置づけられており、半導体は我が国の最も重要な技術の一つである。半導体製造はフォトリソグラフィ工程、イオン打込み工程、エッチング工程等数多くの工程を繰り返し行われるが、洗浄工程はいずれの工程の前後にも存在し、半導体製造プロセスの1/3は洗浄工程と言われている。この洗浄工程は、ウェハと呼ばれるシリコン基材上のナノメートルオーダーのパーティクルを除去するもので、1バッチ25枚のフープの単位で、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。しかしながら純水をスプレーして洗浄する場合、純水が絶縁体であるため静電気障害が生じる課題がある。従来、このような帯電、放電現象による静電気障害の対策は経験的に行われ、要因を解明し、体系化することが難しい。

2. 研究の目的

本研究では半導体デバイス製造のウェットプロセスにおける帯電・放電現象の要因を解明し、静電気の抑制技術の実用化が目標である。

3. 研究の方法

(1) テーマ

本研究の主要テーマは「①二流体スプレー洗浄における帯電現象の解析と静電気防止技術」「②誘導帯電を利用した純水中の電荷制御技術」「③ウェハ表面の帯電分布計測と ESD 防止技術」「④AI の用いた静電気障害防止技術」であり、本年度、二流体スプレー洗浄における静電気防止技術を確立したので報告する。

(2) 誘導帯電を利用した純水中の電荷制御技術

図 1 に誘導体素子の取り付けした二流体スプレーノズルを示す。使用した二流体スプレーノズルはガスと純水の混ぜ合わせがノズル内部で行われる内部混合型あり、ノズル先端部石英でできている。試作した誘導帯電素子は外径 62 mm, 内径 48.5 mm, 外径 48 mm, 内径 38 mm のポリアセタール製の円筒を組み合わせ、その間に金属電極としてアルミテープをはさみ込んだ。その金属電極に -10 kV から 10 kV の高電圧を印加する。そして誘導帯電素子を図 1 のように -5mm, 5mm, 25mm の位置に取り付け、誘導帯電素子内の強電場中に二流体スプレーした純水を通すものとした。

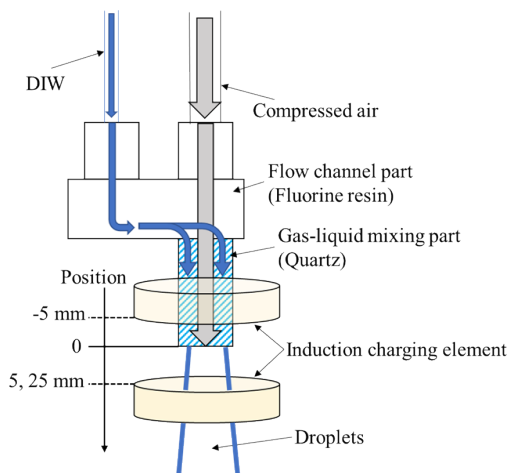


図 1 誘導体素子の取り付けした二流体スプレーノズル

4. 研究成果

得られた実験結果を図 2 に示す。エラーバーは 0.5 秒間隔で測定した 120 点分のデータの標準偏差を示す。いずれの場合も印加電圧が -8 kV 以下では発生電流のばらつきが大きかったが、発生電流は印加電圧に対して負の傾きで比例した。各取り付け位置における発生電流の印加電圧特性の近似直線の傾きに注目すると、ノズル先端より 5

mm 上に設置したときの傾きは -11.7 nA/kV, 5 mm 下に設置したときの傾きは -12.6 nA/kV, 25 mm 下に設置したときの傾きは -14.5 nA/kV であり、いずれの条件でもマイナス数十 nA/kV の傾きで比例する。このように誘導帯電素子に印加する電圧と飛行液滴速度に発生する静電量を制御できることを確認した。このことから誘導帯電素子を用いることによって半導体デバイス上の静電気障害を減少させる可能性を持つことが分かった。

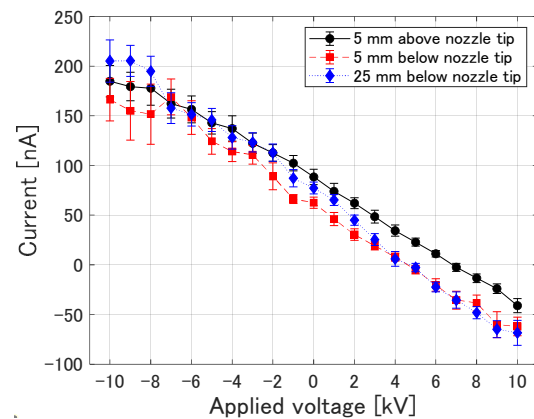


図 2 二流体スプレーノズルと誘導体素子の取り付け位置

5. 謝辞

本研究はソニーセミコンダクタマニュファクチャリング株式会社とソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社と愛知工業大学プロジェクト共同研究で行ったものである。両社には深く感謝する。

6. 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) 福岡靖晃他, 静電気学会誌, 46(1) 8- 13, (2022).
- (4) 鈴木洋陽他, 静電気学会誌. 46(1), 38- 43, (2022).
- (5) Y. Seike et. al., International Symposium on Non-thermal Plasma Technology and International Symposium on Electrohydrodynamics (ISNTP-12/ISEHD 2022), O-60.
- (6) H. Suzuki et. al., International Symposium on Non-thermal Plasma Technology and International Symposium on Electrohydrodynamics (ISNTP-12/ISEHD 2022), P-16.