

シンポジウム(口頭講演) | シンポジウム：グリーンファブの未来を拓く：持続可能なものづくりへの挑戦

■ 2025年3月15日(土) 13:30 ~ 18:45 皿 K206 (講義棟)

[15p-K206-1~12] グリーンファブの未来を拓く：持続可能なものづくりへの挑戦

青野 真士(Amoeba Energy)、中川 真一(SCREEN)

13:30 ~ 13:40

[15p-K206-1]

オープニングアドレス／グリーンファブの未来を拓く

○中川 真一¹ (1.SCREEN)

13:40 ~ 14:20

[15p-K206-2]

キオクシアのファブグリーン化に向けた取り組み

○谷本 樹里¹ (1.キオクシア株式会社)

14:20 ~ 15:00

[15p-K206-3]

サステナブルな世界に向けて non-PFASバイオマスEUVレジスト

○森田 和代¹、芳倉 佑樹¹、須永 春海¹ (1.王子ホールディングス)

15:00 ~ 15:15

[15p-K206-4]

膜分離技術による有機排水の削減

○山本 勝哉¹、上田 悠介¹、南 翔耀¹、植村 知浩¹、吉田 幸史²、岩尾 通矩² (1.株式会社SCREENホールディングス、2.株式会社SCREENセミコンダクターソリューションズ)

15:15 ~ 15:30

[15p-K206-5]

DHFを用いた窒化膜のウェットエッチングプロセスにおけるデータドリブンな予測モデル

○(M1)柴田 行輝¹、太田 喬²、安藤 幸嗣²、三澤 奈央子¹、松井 千尋¹、竹内 健¹ (1.東大工、2.SCREEN SPE)

15:30 ~ 16:10

[15p-K206-6]

循環型社会を目指して：PFASリサイクルへの挑戦

○清原 公平¹、渋谷 潤¹ (1.SCREENセミコンダクターソリューションズ)

16:25 ~ 17:05

[15p-K206-7]

製造業におけるエネルギーストレージ導入と自家発再エネ利用拡大への挑戦

○小久保 利記¹ (1.武蔵精密工業株式会社)

◆ 奨励賞エントリー

17:05 ~ 17:20

[15p-K206-8]

半導体製造デジタルツインモデルに向けた中間変数を利用する複数工程モデルでのケーススタディ

○岡地 涼輔¹、白井 正則¹、森 朋彦¹、村松 潤哉¹、桑原 誠¹、菊田 大悟¹ (1.豊田中研)

17:20 ~ 17:35

[15p-K206-9]

プロセスフロー作成ツールの開発

○林 慶知¹、高橋 英樹¹、佐藤 政司¹、土屋 智由¹ (1.京大)

◆ 奨励賞エントリー ◆ 注目講演

17:35 ~ 17:50

[15p-K206-10]

ウェットエッチングプロセスにおける少サンプル下でのレシピ作成および検証を行うAIシステム

○(M1)柴田 行輝¹、堀口 博司²、松井 千尋¹、竹内 健¹ (1.東大工、2.SCREEN SPE)

17:50 ~ 18:30

[15p-K206-11]

欧米に見るテクノロジー志向成長戦略とグリーン政策の競合と調和

○真白 すびか^{1,2,3,4} (1.IRDS FI、2.SEMI PFASイニシアティブ、3.セミジャパン国際法規制適合委員会、4.東京エレクトロン)

18:30 ~ 18:45

[15p-K206-12]

グリーンファブの未来を拓く：持続可能なものづくりへの挑戦

○青野 真士¹ (1.Amoeba Energy)

シンポジウム(口頭講演) | シンポジウム：グリーンファブの未来を拓く：持続可能なものづくりへの挑戦

📅 2025年3月15日(土) 13:30 ~ 18:45 📍 K206 (講義棟)

[15p-K206-1~12] グリーンファブの未来を拓く：持続可能なものづくりへの挑戦

青野 真士(Amoeba Energy)、中川 真一(SCREEN)

13:30 ~ 13:40

[15p-K206-1] オープニングアドレス／グリーンファブの未来を拓く

○中川 真一¹ (1.SCREEN)

キーワード：半導体、サステナビリティ、エネルギー

本シンポジウムでは、温室効果ガスや環境汚染物質の削減、エネルギー効率向上を目指す「グリーンファブ」への転換について議論します。エネルギーストレージ技術や再生可能エネルギーの利用拡大、PFASリサイクル技術、バイオマス由来EUVレジストなど、最先端の技術を紹介します。また、欧米のグリーン政策と成長戦略を取り上げ、持続可能な製造プロセスの実現に向けた応用物理の活用方法や成功事例を学び、理解を深めます。

キオクシアのファブグリーン化に向けた取り組み

KIOXIA Group's initiatives for NET-zero GHG emission

キオクシア ○ 谷本 樹里

KIOXIA ○ Jyuri Tanimoto

E-mail: jyuri.tanimoto@kioxia.com

キオクシアグループは、スマートフォンやサーバーなど、多くの電子機器に欠かせない半導体メモリを供給し、事業を通じて持続可能な社会の発展に貢献していきます。一方、コンシューマーエレクトロニクス、自動車、AI（人工知能）、データセンターなどの市場拡大に伴い、半導体メモリの需要も拡大しており、半導体メモリ製造時の消費エネルギーは増加しています。最近では、地球規模での気候変動や環境負荷などの環境問題に対処し、持続可能な未来を築くための根本的な解決策が求められています。半導体事業における気候変動への社会的関心に応えるため、キオクシアグループの生産拠点では、従来から PFC（パーフルオロカーボンガス）等のガス除去装置を積極的に設置してきました。さらに、製造新棟では、最新の設備を導入し、省エネルギーで効率的な生産プロセスを実現し、環境負荷を低減する取り組みを行っています。また、再生可能エネルギーの活用を推進するため、2022 年度からは当社グループ工場の建屋に屋上型太陽光発電システムを導入しています。

本講演では、キオクシアグループがファブグリーン化に向けて取り組んでいる活動について説明し、気候変動、サーキュラーエコノミー、水資源の有効活用・生物多様性といったテーマについても触れます。さらに、将来に向けた課題についても紹介します。

サステナブルな世界に向けて non-PFAS バイオマス EUV レジスト

Non-PFAS Biomass EUV resist for Sustainable World

王子ホールディングス, °森田 和代, 芳倉 佑樹, 須永 春海

Oji Holdings, °Kazuyo Morita, Yuki Yoshikura, Harumi Sunaga

E-mail: morita143021@oji-gr.com

昨今、“サステナビリティ”という言葉が多く聞かれるようになった。サステナブルな世界＝持続可能な世界にしていくためには、特に環境問題と向き合う必要がある。

この中でも、気候変動に対する取組は急務である。2023 年の世界平均気温は産業革命前と比べて 1.45 ± 0.12 °C と、2015 年に採択されたパリ協定で長期努力目標としている 1.5 °C に迫っている。また、気候変動が原因とされる昨今の猛暑や豪雨など異常気象の被害額も年々増加している。

半導体業界でも気候変動に対する取組が行われてきているが、電力を再生可能エネルギーにするという取組が目立つ。更に温室効果ガスを低減させるためには原材料でも温室効果ガス削減を意識していかなければならない。その点で、二酸化炭素を吸収して原料となるバイオマスの活用は重要である。

気候変動以外の環境問題として昨今注目されているのがフッ化有機化合物 (PFAS) である。PFAS は、その耐水性や耐熱性、防汚性といった特性から、これまで幅広い製品に用いられてきた。しかしながら、自然界で分解されにくく、近年人体への有害性の懸念が高まっていることから、欧米を中心として規制が強化されようとしている。日本でも井戸水などから PFAS が検出され、問題となっている。半導体業界においても多くの PFAS が利用されていることから、今後市場からの要求により PFAS 規制への対応が必要になってくると考えられる。例えば一般的な EUV (極端紫外線) レジストは、その性能向上のために PFAS が使われている。

そこで、バイオマスを原料とし、かつ non-PFAS を達成可能な EUV レジストを開発した。

non-PFAS バイオマス EUV レジストは、主鎖切断型のメカニズムを採用している。これは、バイオマスが同じく主鎖切断型レジストとして知られる PMMA に比べて約 8 倍も主鎖と切断する能力を持っているからである。そのため、一般的なレジストが必要とする PFAS なしに、レジストとして機能することができるのである。この non-PFAS バイオマス EUV レジストは、ポジ型であることや、露光後もレジスト膜が安定で、現像までの時間管理を厳密にする必要がないことなどが特徴として挙げられる。Non-PFAS バイオマス EUV レジストのリソグラフィ性能の一例として、電子線リソグラフィにおける hp8.4nm の L/S パターンが得られている。また、0.50NA EUV リソグラフィでも良好な結果が得られていることから、High-NA EUV リソグラフィにポテンシャルが高い材料のひとつであると考えられる。また、バイオマス現像液についても検討を行っており、今後更に環境に配慮したリソグラフィプロセスを提案していく予定である。

膜分離技術による有機排水の削減

Reduction of Organic Wastewater using a Membrane Separation Technology

株式会社 SCREEN ホールディングス¹, 株式会社 SCREEN セミコンダクターソリューションズ²

○山本 勝哉¹, 上田 悠介¹, 南 翔耀¹, 植村 知浩¹, 吉田 幸史², 岩尾 通矩²

SCREEN Holdings Co., Ltd.¹, SCREEN Semiconductor Solutions Co., Ltd.²,

○Masaya Yamamoto¹, Y. Ueda¹, S. Minami¹, T. Uemura¹, Y. Yoshida², M. Iwao²

E-mail: masay.yamamoto@screen.co.jp

半導体製造における洗浄プロセスの乾燥時には、イソプロピルアルコール (IPA) と大量の超純水 (UPW) を使用し、それらが混ざった有機排水が排出される。半導体構造の複雑化に伴い、洗浄工程の数が増え、有機排水量も増加する。また、世界的な半導体デバイスの生産量増加により、有機排水量はさらに増加していく。有機排水は半導体製造工場内の排水処理施設で処理され、処理中及び処理後残留物の処分時に CO₂ を発生させるため、環境負荷の要因となる。

弊社は、洗浄装置出口において、有機排水から IPA と UPW を分離する技術の開発を行った。本技術により、有機排水量が削減され、排水処理施設を小さくすることが可能となる。さらに、分離された IPA や UPW は、それぞれ原料として再利用することも見込める。分離手法としては蒸留が一般的だが、装置近傍に設置できるコンパクトなサイズで、エネルギー消費量が少ない (CO₂ 排出量が少ない) 膜分離法に注目した[1]。

IPA と UPW の分離実験装置を Fig.1 に示す。分離ユニットは循環側 (タンク、循環ポンプ、ヒーター、分離膜) と透過側 (還流コンデンサー、タンク、減圧ポンプ) で構成され、温度、循環流量、透過圧力を制御する。本装置において、20wt% の IPA 水溶液を 99wt% 以上まで濃縮することができた (Fig.2)。また、分離性能において実験結果と誤差 3wt% 以下のシミュレーション技術も同時に開発した。この技術を使うことで、装置からの多様な排水濃度に合わせた、最適な運転条件に制御することが可能となり、更なるエネルギー消費削減が期待できる。

今後は、実際の有機排水を用いた分離評価や、分離された IPA と UPW の再循環に向けたパーティクルや金属イオンを除去する技術の開発を行う。

[1] T. Uemura *et al.*, *Ultra Facility* 2024.

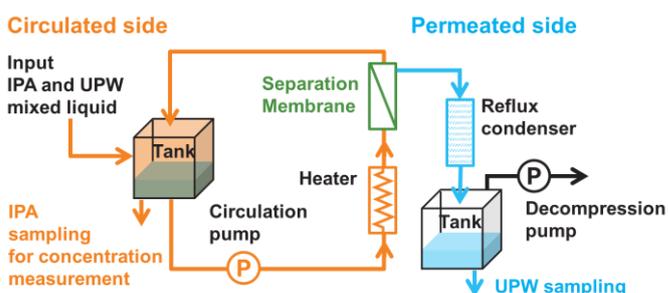


Fig.1 Experimental Setup

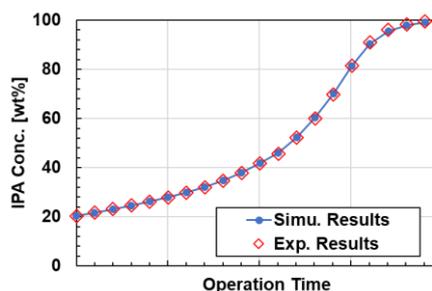


Fig.2 Experimental and Simulation Results

DHF を用いた窒化膜のウェットエッチングプロセスにおける データドリブンな予測モデル Data-Driven Prediction Model for Si_3N_4 Wet Etching Using DHF

東大工¹, SCREEN SPE² ◯(M1) 柴田 行輝¹, 太田 喬², 安藤 幸嗣²,
三澤 奈央子¹, 松井 千尋¹, 竹内 健¹,

Univ. Tokyo¹, SCREEN SPE², ◯Koki Shibata¹, Takashi Ota², Koji Ando²,

Naoko Misawa¹, Chihiro Matsui¹, Ken Takeuchi¹

E-mail: koki.shibata@co-design.t.u-tokyo.ac.jp

本研究では、DHF (Dilute HF, 希釈フッ化水素) を用いて窒化膜 (Si_3N_4) をエッチングし、ノズルの走査パターンとウェハ回転速度を系統的に変化させることでエッチングレート (ER) の分布を計測・解析する (Fig. 1)。ウェハは回転する処理が多く同心円状に薄膜の厚さがばらつくことがあり、半径位置に応じて選択的なエッチングを行うレシピが必要となる。そのためノズル位置やスキャン周期、回転速度といった多様なパラメータの動的な最適化が課題となる。本論文では、これらのパラメータが ER にどのような影響を与えるかを詳細に評価した上で、軽量かつ高速に最適化を行うためのデータドリブンなモデル(下式)を提案する[1]。

提案モデルの特長は、中心固定滴下パターンでの ER を基準とし、ノズル走査の周期に応じて ER が変化する様子を関数形式で表現できる点である。特に、走査周期が短いほど中心付近の ER が増大する傾向が見られ、これを周期の平方根依存という単純な数式を導入することで再現可能となった (Fig. 2)。加えて、ウェハ回転速度は局所的な化学液の流れに影響を与えるものの、全体としてはノズル走査パターンがエッチング挙動を大きく左右することが明らかになった。こうした知見に基づき、提案モデルはウェハ内の ER 分布を高精度で予測できるだけでなく、「所望の分布を得るためには走査周期をどのように設定すればよいか」という逆問題にも直接応用できる。これは、複雑な数値流体力学シミュレーションやブラックボックス的なニューラルネットワーク[2]を用いなくとも、シンプルな計算手法でレシピ策定が可能になることを意味する。

また、ウェハごとに生じるモード差 (“mode 1” と “mode 2”) が存在し、膜形成の前処理や保管方法などがエッチングのばらつきを生じさせる可能性がある点も示唆された。テスト用の複雑なノズルスキャンに対して、それぞれのモードにおいて MSE (Mean Squared Error, 平均二乗誤差) が 4.1×10^{-4} , 1.9×10^{-3} となり、モデルが高い外挿性能を示すことを確認した。

謝辞 本研究に際し、ご協力くださった SCREEN 三河氏、高橋氏、堀口氏、吉永氏に御礼申し上げます。

参考文献 [1] K. Shibata et al., *EDTM*, 2025 (Accepted). [2] S. Yoshikiyo et al., *SNW*, pp. 2-3, 2023.

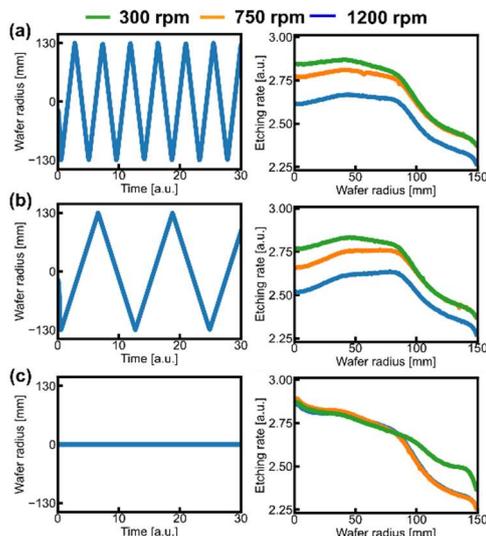


Fig. 1 ノズルスキャン動作(左段)と対応する ER 測定データ(右段)

$$f(r) = \begin{cases} f_{\text{fixed drop}}(r), & r_2 < r \\ f_{\text{fixed drop}}(r) - b\sqrt{T}|r - r_2|, & r_1 < r \leq r_2 \\ f_{\text{fixed drop}}(r) - b\sqrt{T}|r - r_2| - a|r - r_1|, & r \leq r_1 \end{cases}$$

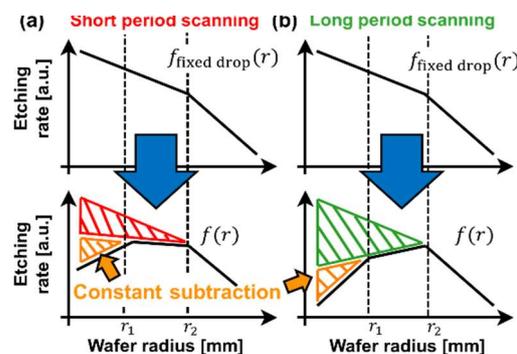


Fig. 2 提案モデルの概要.

循環型社会を目指して：PFAS リサイクルへの挑戦

Toward a Circular Society: The Challenge of PFAS Recycling

株式会社 SCREEN セミコンダクターソリューションズ 清原 公平

SCREEN Semiconductor Solutions co., Ltd., Kohei Kiyohara

E-mail: k.kiyohara@screen.co.jp

当社 SCREEN セミコンダクターソリューションズは、半導体製造装置メーカーとして”サステナビリティ戦略”を事業成長戦略と経営基盤強化戦略を下支えする共通戦略と位置付けています。今後、長期的な環境・社会・企業統治（ESG）課題の解決に向けたバリューチェーン全体での取り組みをグローバルに実施するために、新しい中期経営計画目標として「Sustainable Value 2026」を策定しています。

その中で、製品の環境性能向上、事業活動における気候変動対応、水の有効活用、製品・パーツの再資源化、生物多様性保全など、環境負荷低減に貢献する製品・サービスの提供に取り組み、半導体製造工程における環境負荷を低減することで、循環型社会の実現に向けて貢献していきます。

近年は、EU PFAS 制限案や米国 PFAS 報告規則などの法規制に基づき、今後 PFAS (Per- and Polyfluoroalkyl Substances；ペル-及びポリフルオロアルキル化合物) の使用に制限がかかる可能性が出てきました。当社製品中にも、特に薬液との接液部において PTFE・PFA などの成形品の継ぎ手・チューブ・パッキン等、PFAS 部材が多数使用されています。これらの PFAS 部材は、耐薬性・耐熱性・清浄度・耐摩耗性など複数の機能を同時に併せ持つという特徴があります。このため、PFAS 部材は代替が非常に難しい、あるいは代替不可とも言われています。

最近になって、PFAS 制限案において PFAS 代替化を進める一方で、資源効率化（リサイクルなど）の検討も話題に挙がるようになってきました。このような状況もあり、当社は PFAS 部品リサイクルへの挑戦を本格的に始めています。

さらに、PFAS のリサイクル推進により、気候変動に対しても貢献できると考えています。実際、PTFE・PFA などの PFAS 部材を、原料の蛍石（フルオライト）から製造する際に発生する CO₂ 排出量よりも、リサイクルにより製造した PFAS 部材の方が、樹脂の種類によっては発生する CO₂ 排出量を大きく削減できるということが分かっているためです。

PFAS に関わらずリサイクル全般について、今まで多くの企業が材料や水、薬液などのリサイクルを検討してきました。しかし、市場のニーズに対してコスト高、低品質、要求性能に対するパフォーマンスの低さなどの観点から、一部を除いて実用化に至るケースはまだまだ少ないのが現状です。

このような課題がある中で、当社は PFAS 部品提供サプライヤーと協力し、コストや品質等の課題を一つ一つクリアして、半導体製造装置内 PFAS 部品リサイクル促進と実用化を進めています。

本講演では、PFAS および半導体製造装置の説明、半導体製造装置内における PFAS 部品の使用例、さらに PFAS 部品のリサイクルに関する現状の取り組みについてご紹介いたします。

製造業におけるエネルギーストレージ導入と 自家発再エネ利用拡大への挑戦

The challenge of introducing energy storage in the manufacturing industry and expanding the use of self-generated renewable energy

武蔵精密工業株式会社 小久保 利記

Musashi Seimitsu Industry Co., Ltd. Toshinori Kokubo

E-mail: toshinori_kokubo@musashi.co.jp

1. 事業概要

2024年5月、武蔵精密工業株式会社本社工場にて豊橋マイクログリッドの運用を開始しました。本プロジェクトは、地域社会への貢献と人と環境の調和を体現する意義深い取り組みです。マイクログリッドとは、自然災害による大規模停電時に避難所やその周辺地域に安定した電力を供給するためのシステムです。製造工場に設置された太陽光パネルや蓄電システムを活用し、避難所や地域に電力を供給するのは全国初の試みです。

2. 技術的特徴

本システムの特徴は、再生可能エネルギーを活用し、避難所に対して非常時においても平時と変わらない電力を最大5日間供給できることです。また、平時においては当社工場の再生可能エネルギー利用率向上と電気代削減を実現しています。

このシステムの実現方法として、発電設備を直流化し、直流のまま需給調整を行うことで、運用が容易なエネルギーマネジメントを可能にしています。太陽光パネル、コージェネレーションシステム、蓄電池からの電力を直流（DC）で集約し、交流（AC）に変換して、平時は工場設備へ、災害時は地域の防災センターへ配電する方式を採用しています。

さらに、エネルギーストレージシステムにはリチウムイオン電池とハイブリッドスーパーキャパシタを組み合わせています。リチウムイオン電池は大容量のエネルギー貯蔵を担い、ハイブリッドスーパーキャパシタは急激な電力変動を補償し、電力品質を維持する役割を果たしています。

3. 課題と今後の展開

脱炭素化の重要性が増す中、カーボンニュートラルの実現には世界的な取り組みが不可欠です。日本においては、地域での電力地産地消や頻発する地震への対応の観点から、地域マイクログリッドの普及が求められています。しかし、マイクログリッドの普及には以下の課題が存在します。

①事業認知度の向上、②事業性の確立、③事業者の不足

本プロジェクトを通じて得られた、企画から運用プロセス、実設備評価、コスト分析を紹介し、持続可能な未来の創造に向けて皆様と共に取り組んでいきます。

半導体製造デジタルツインモデルに向けた 中間変数を利用する複数工程モデルでのケーススタディ

Case Study on Modeling of Multiple Processes Using Intermediate Variables for Digital Twin Modeling of a Semiconductor Manufacturing

豊田中研¹ ◯岡地 涼輔¹, 臼井 正則¹, 森 朋彦¹, 村松 潤哉¹, 桑原 誠¹, 菊田 大悟¹

TOYOTA CENTRAL R&D LABS., INC.¹, ◯Ryosuke Okachi¹, Masanori Usui¹, Tomohiko Mori¹,

Junya Muramatsu¹, Makoto Kuwahara¹, Daigo Kikuta¹

E-mail: okachi@mosk.tytlabs.co.jp

【はじめに】半導体製造工程を仮想的に表現したデジタルツインモデル[1]では、現実の製造工程上の工程改善や装置変更などに追従するために、部分的な再利用性や再構築性が求められる。このために、モデルをプロセスごとに分割して構成することが考えられるが、前の工程条件が結果的に後工程に影響を及ぼす場合のような複数工程間で生じる影響を、分割したモデルでも適切に表現する必要がある。本研究では、ケーススタディとして原子層堆積法(ALD)により形成された酸化膜に対し、①ポストアニール工程、②エッチング工程の2段階の工程のモデル化を検討し、その際の要点を考察した。

【方法】対象の工程において、エッチング条件を一定にしたままアニール温度を増加させると、エッチングレートが減少することが知られている。これは、アニール温度増加に伴ってALD膜から不純物が脱離したことによる、SiO₂の密度増加に起因すると考えられる[2, 3]。こ

のことから、工程間の影響を伝搬するための中間変数として、不純物濃度、SiO₂密度、酸化膜厚の3つを選定した。図1に、これらの中間変数をプロセス間の入出力として設計したモデルを示す。

【結果・考察】図1のモデルによるエッチングレートの予測結果を図2に示す。エッチングモデルでは、アニール温度を直接利用せず、アニール温度によるエッチングレートへの影響を表現できた。これより、単にプロセスを分割するだけでなく、物理的知見に基づいて中間変数を特定してモデル設計をすることが、モデルの再利用性を向上させながら複数工程間で生じる影響を表現する際に重要であると考えられる。

【参考文献】

- [1] IRDS™ 2023: Factory Integration, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2023.
[2] M. Sometani *et al* 2012 *Jpn. J. Appl. Phys.* **51** 021101
[3] P. Pan *et al* 1985 *J. Electrochem. Soc.* **132** 2012

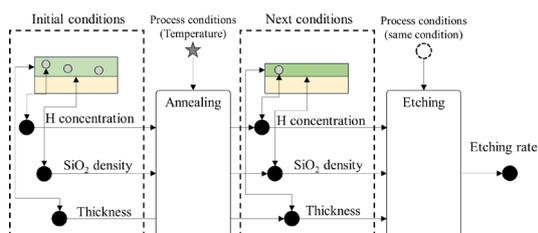


図1 構築したモデル全体像

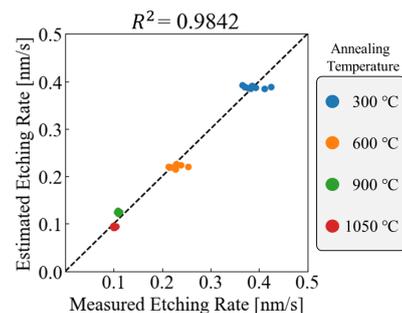


図2 エッチングレートの予測結果

プロセスフロー作成ツールの開発

Development of process flow creation tools

京大 学際融合教育研究推進センター¹, 京大 院工² ○林 慶知¹, 高橋 英樹¹, 佐藤 政司¹, 土屋 智由^{1,2}

Kyoto Univ., [○]Yasunori Hayashi, Hideki Takahashi, Masashi Satou, Toshiyuki Tsuchiya

E-mail: hayashi.yasunori.5a@kyoto-u.ac.jp

マテリアル先端リサーチインフラ (ARIM: Advanced Research Infrastructure for Materials and Nanotechnology) は、大学などが保有する最先端設備の共用やマテリアルデータの利活用を通じて、研究開発を支援する事業である。最先端設備の共用や、高度な専門技術者 (支援員) による技術支援に加え、装置利用によって生成されるデータは事業専用のシステム (RDE) に登録されることでマテリアルデータを効率的に活用できる仕組みを提供する。RDE は、複雑なファイル構造を持つ大量のデータを構造化し、即座に活用可能な形式へ変換する機能を備えており、データ解析や活用の効率化が大幅に進むことが期待される。

京都大学ナノテクノロジーハブ拠点 (ナノハブ) では、材料・プロセス・デバイス研究のための半導体微細加工プロセス技術を提供している。施設利用に際し、設備利用管理システムを用いて利用者がネットワーク上で装置利用の予約と管理を行うことができる。しかし、これまでのシステムでは、課題単位で個別に装置予約が行われ、どのような材料をどの装置を利用してどのような手順で加工・処理しているかといった一連のつながりを把握することができず支援員が前後の処理が適切かの判断ができなかった。そこで、設備利用管理システム内に材料、プロセスの手順、各プロセスの条件 (レシピ) を登録する機能 (プロセスフロー作成ツール) を導入した。図 1 に ARIM 登録管理システム概要図としてプロセスデータを RDE へ登録するまでの流れを示す。利用者は事前にプロセスフロー、装置レシピを入力したうえで装置予約、設備利用を行う。これにより支援員は個々の装置利用が利用者の試作プロセスフローのどのステップに対応するかなどの前後関係、また装置使用条件の詳細を事前に確認し問題点がないかを把握することで、よりきめ細やかな利用支援が可能となる。また、これらのプロセスデータは RDE へ登録する際、データ構造化に適したファイル構造、形式に変換し登録することで、蓄積されたデータをより活用しやすくなるため利用者自身や新たな利用者の研究開発をより効率的に進められることが期待される。

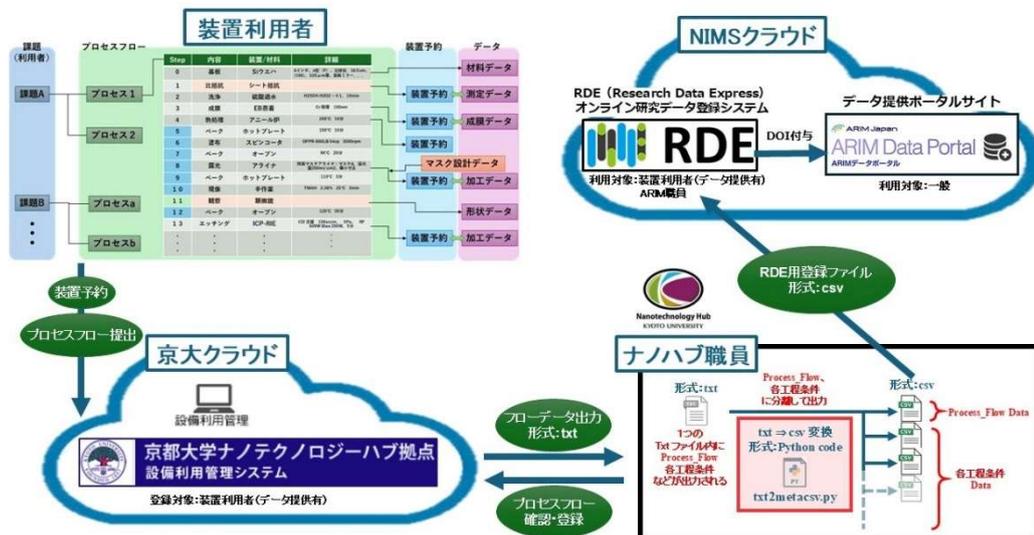


図 1. ARIM 登録管理システム概要図

Fig 1. Outline diagram of ARIM data registration management system

ウェットエッチングプロセスにおける少サンプル下での レシピ作成および検証を行う AI システム AI System for Recipe Creation & Verification of Single Wafer Wet Etching in Scarce Data Conditions

東大工¹, SCREEN SPE² ◯(M1)柴田 行輝¹, 堀口 博司², 松井 千尋¹, 竹内 健¹,
Univ. Tokyo¹, SCREEN SPE², ◯Koki Shibata¹, Hiroshi Horiguchi², Chihiro Matsui¹, Ken Takeuchi¹
E-mail: koki.shibata@co-design.t.u-tokyo.ac.jp

枚葉処理のウェットエッチングプロセスにおいては、高速で回転するウエハ表面にノズルが薬液を滴下することによりウエハ表面の化学反応を通して洗浄が行われる。半導体微細化に伴い、歩留まり向上のためエッチングレートの均一性への要求は高まりつつあるが、これまでプロセスエンジニアの経験に依存して、ノズル動作やウエハ回転速度など複雑なプロセスレシピの決定がなされてきた。本研究においては、レシピ作成の自動化を行う Backcasting AI と推定されたレシピの検証を行う Forecasting AI の2つの AI モデルを提案し、ウェットエッチングプロセス全体を仮想空間でシミュレーションすることを提案する(Fig. 1) [1]。

提案された Backcasting AI は2層のニューラルネットワークを複数訓練しアンサンブルすることで過学習を防ぎつつ少サンプル下でのモデルの訓練を効率化する(Fig. 2)。ノズルの周期的な動きを周期などの情報を含む8次元ベクトルで表現し、これを目的変数とする。説明変数としては、エッチング結果だけでなく、区間差分や区間分散といった特徴量エンジニアリングを行い更なるネットワークの学習の効率化を図る。説明変数作成時に使用される区間差分の幅といったハイパーパラメータはグリッドサーチにより最適化される。この結果、RMSE(Root Mean Squared Error, 二乗平均平方根誤差)は特徴量導入前より0.029改善し、アンサンブルを導入することにより0.021さらに改善される。Forecasting AI においては、ノズルの半径位置ごとの累積滞在時間をモデルの入力として、エッチング結果の予測を行う(Fig. 3)。その際、説明変数においてクリッピング処理を施すことで、従来モデル[2]において外れ値がモデルの学習を阻害する問題点を改善する。RMSEとMEP(Mean Error Percentage, 平均誤差率)をそれぞれ先行モデルと比較して0.0022、0.57だけ改善し、実測値との誤差を縮めることに成功した。

謝辞 本研究に際し、ご協力くださったSCREEN 三河氏、高橋氏、太田氏、吉永氏に御礼申し上げます。

参考文献 [1] K. Shibata et al., *SNW*, pp. 117-118, 2024. [2] S. Yoshikiyo et al., *SNW*, pp. 2-3, 2023.

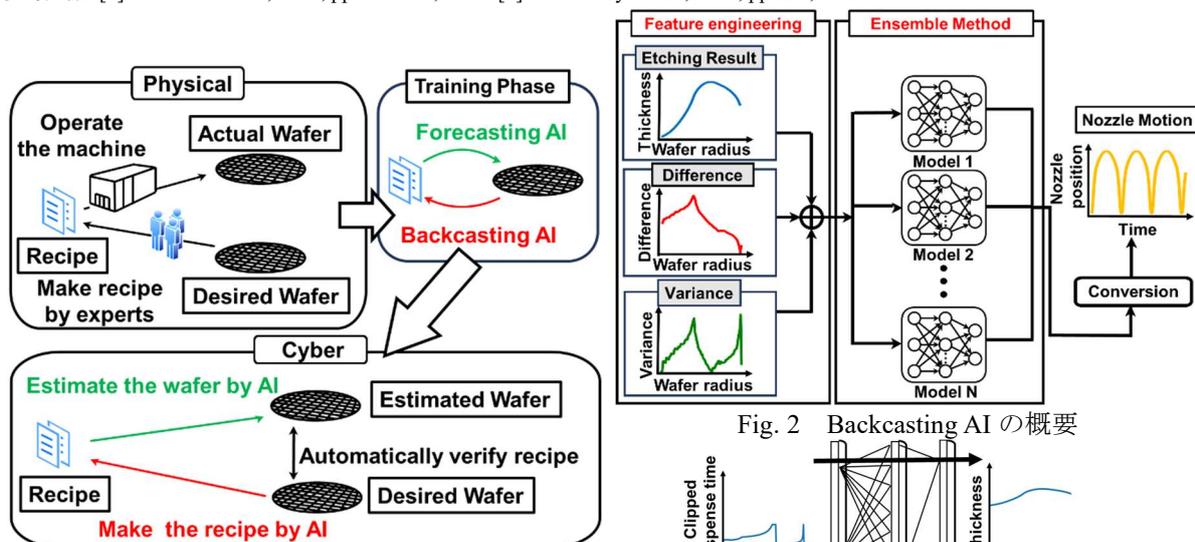


Fig. 1 ウェットエッチングプロセスにおける Backcasting AI と Forecasting AI

Fig. 2 Backcasting AI の概要

Fig. 3 Forecasting AI の概要

欧米に見るテクノロジー志向成長戦略とグリーン政策の競合と調和

本講演では半導体サプライチェーンに影響が大きいと目される政策や法規制の策定動向を手掛かりに欧米において成長戦略とグリーン政策との整合・不整合とそれによる半導体産業への影響を考察する

(1) EU 動向

「欧州グリーン・ディール」では、経済成長と採掘→利用→廃棄という単一方向の資源の利用とを切り離し、代わりに製品の可用寿命延長や再利用・リサイクル・再生を促して経済システムの中でできる限り長く循環させる「サーキュラーエコノミー」への移行により 2050 年までのカーボンニュートラルや有害物フリーの環境を享受する個人の権利と欧州経済成長の継続が両立可能だとしている。そのため、EU は新サーキュラーエコノミー経済行動計画を策定し、製品の設計から製造、アフターサービス、EOL を含めたバリューチェーン全体にアクションを設定し、順次実行してきている。この行動計画に基づく政策パッケージの中核となる法令の一つが Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR) である。また、有害物フリー (EU's zero pollution ambition) についても Chemical Strategy for Sustainability (CSS) を策定し、それに沿って有害物質の製造・使用を廃止もしくは最小化するための各種規制を制定するとしている。この政策の目玉の一つが PFAS の規制で、2023 年には PFAS (PFAS 定義は OECD 定義と同等) をグループとして一括して REACH 規則の制限対象とする提案が出され審議が進められている。

(1-1) EU 環境規制による半導体製造へのインパクト

- ESPR は、製品の環境持続可能性を向上させ、製品のライフサイクル全体における環境フットプリントを削減しつつ市場持続可能な製品の域内市場での自由な移動を確保することを目的として、事業者が製品を EU 市場に上市するために順守しなければならないエコデザイン要件を設定するための枠組みで、実際の製品に直接適用される法令ではない。ESPR に基づき優先すべき製品グループごとにエコデザイン要求仕様を定める委任立法が規定され、対象の製品が EU 市場で販売される場合 EU 産か輸入製品化にかかわらずエコデザイン要件が適用される。また対象製品グループも従来のエコデザイン指令から大幅に拡充し、部品や中間材も含むあらゆる物理的製品や物理的製品の不可欠な要素を構成するデジタルコンテンツにまで及ぶことが意図されている。また再利用可能性から製造時の資源利用側面、EOL でのリサイクルや資源物質回収の可能性側面、カーボンフットプリント等を含む環境負荷影響など 16 の製品側面に関連する性能要件に適合することがエコデザイン要件の中核となっている。
- 半導体デバイスに関して ESPR がどのように適用もしくは影響するのかについては現時点では全く読めないが、半導体製造装置や周辺機器などは部品として多くの汎用電子機器等を使用しており、また銅材やアルミなどの金属素材では素材製造の環境フットプリントが性能要件の一部をなすと見込まれており、ESPR 適合を担保するためには設計はもちろん部品・材料調達、情報提供スキームなど大きな影響を受けることが予想される。
- EU の化学物質政策を担保する主要法規制である REACH の制限は成形品中の含有物質にも適用されるため、特に PFAS が提案通り一括して制限される場合、たとえ半導体製造工程にかかわる使用が規制発効後 13.5 年の例外扱いを受けられる仮定しても、半導体製造の材料および半導体製造装置や半導体製造工場インフラの維持管理に対する影響の大きさは莫大なものと考えられる。また、結果的に EU の半導体製造能力拡大ポリシーそれに基づく投資にも波及することが懸念されている。

(1-2) EU 環境規制の他地域への影響

- EU はその政策 (例 CSS) で ICCP や Stockholm Convention などの国連下での環境枠組みを通して EU の先進的な環境政策を国際的なルールにまで格上げすることを目指すとしている。現実的にも EU で規制化されたのちに Stockholm Convention に提案され廃絶や制限の対象となった例は多い。また、ストックホルムコンベンションの決定は加盟国の国内法化を経てグローバル市場の大部分に適用されるため、間接的に EU 環境規制に影響されているとみられることもできる。
- ESPR の場合は EU 市場に上市される製品に直接の影響は限られるが、エコデザイン要件の性能パラメータの測定法やエコデザイン情報へのアクセスを担保するデジタルパスポートの仕組みなどの標準化や国際規格への格上げ等によりエコデザインにおける EU のリーダーシップが他地域にも影響を及ぼすと考えられる。

(2) 米国動向

米国の場合欧州と違い、「大きな粒度で環境戦略を定めてそれに従う行動計画や下位政策をパッケージ化して提示し、計画に従って必要な法規制を整備する」といった系統的アプローチは少なくとも環境政策に関しては採用されにくい。

エネルギー効率についてみると、Department of Energy (DOE) が特定の製品グループに関するエネルギー効率要件を定める規則を発行しているが、製品の多岐にわたる環境性能要件要求に拡充される可能性は低い。

環境有害物質については EPA のもとで計画的に健康及び環境影響評価が行われ、必要に応じ TSCA の改正を行って規制をしているが、例えばストックホルムコンベンションに米国は加盟国 (Party) としてではなくオブザーバーとして参加を続けており、廃絶や禁止の国内法への反映に関しても完全な自由度を確保している。

(2-1) 米国の環境規制と半導体製造 SC

- モントリオール条約のキガリ改定に関しては AIM Act により EPA に規則整備をゆだね高 GWP の HFC 製造やそれを使用する機器の製造流通への厳格な制限を規則化している。半導体製造プロセス用途での HFC は対象外であるが、製造装置の一部をなすチラーや冷凍機器を用いた温調器などの供給が代替品の準備が間に合わず滞る可能性が出てきている。
- また、米国は「連邦法と同一スコープでより厳格な州法」の制定を許容しているため、HFC 使用機器の GWP 制限が CA などのいわゆる「Green States」では連邦レベルより厳格かつ早期に適用される、あるいは州レベルで PFAS の報告ルールや原則禁止年限が制定されるなど、半導体製造装置の仕向け先により異なる要求となり設計・管理負荷が大きい。

(3) 半導体製造のグリーン化と半導体産業の成長

半導体製造は極限まで微細化した構造を安定して再生産することが絶対条件であり、すべてのプロセスでそれを担保する仕組みとしていわゆるコピーゲザクトリーといわれるポリシーに支配されている。そのため環境法規制により半導体プロセスの変更や半導体製造装置を構成する部品・材料の変更を余儀なくされる場合に他の産業に比べ適合までの期間が長かったり、環境改善効果に不釣り合いな経済的負や場合によっては発明の成功を待たない代替手段がないこともある。高性能の半導体デバイスが医療・モビリティ・高度情報サービスやグリーンエネルギー設備がその機能を発揮し、「グリーンと成長の継続を両立できる」社会となるためには、環境政策や法規制の制定において、半導体製造という狭い分野ながら波及効果の大きい産業に対し、半導体製造サプライチェーン全体も含めて最適な配慮を求めていく必要があると考えられる。

一方半導体製造サプライチェーンは業界団体などを通じて環境法規制当局などとコミュニケーションを続けるとともに、より少ない環境負荷での半導体製造デバイス製造を実現するためのイノベーションが求められる。

グリーンファブの未来を拓く：持続可能なものづくりへの挑戦 Shaping the Future of Green Fabs: Toward Sustainable Manufacturing

Amoeba Energy 株式会社 ○青野 真士

Amoeba Energy Co., Ltd., °Masashi Aono

E-mail: aono@amoebaenergy.com

持続可能な社会の実現に向け、製造業におけるグリーン転換（Green Transformation; GX）やグリーン移行（Green Transition）が加速しています。温室効果ガスや環境汚染物質の削減、エネルギーと資源の効率的活用を追求する「グリーンファブ」への転換は、今や産業界全体に求められる課題です。本シンポジウムでは、応用物理学と最新技術の視点から、グリーンファブの実現に向けた課題と解決策を議論します。