

高密度反応性大気圧熱プラズマ ジェット発生技術を用いた有機材料 の超高速エッチング

広島大学 大学院先進理工系科学研究科
教授 東 清一郎

2022年10月13日

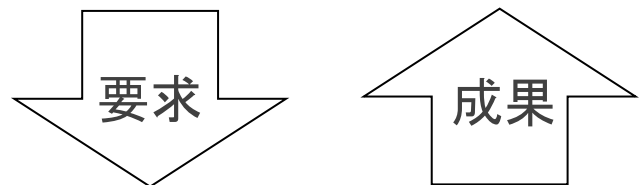
本研究の背景

半導体製造装置に求められる技術革新とは

脱炭素

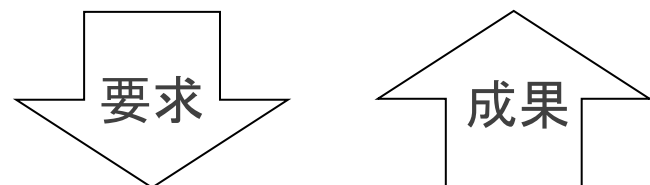
2020年10月の論文で、ハーバード大学のウディット・グプタ氏が率いる研究者らはあらゆるものがコンピューター化するにつれ「環境への影響も大きくなる」ことを示した。情報およびコンピューター技術は30年までに世界のエネルギー需要の最大20%を占める見込みで、システム運用よりもハードウェアによる消費が大きいという。また、「半導体生産がCO₂排出の大部分を占める」とも研究者らは結論付けた。
(Bloomberg「半導体需要急増でCO₂排出も拡大－ESG絡みで業界ジレンマ 2021年4月12日より)

半導体ユーザー



世界最大の半導体ユーザーとして知られるアップルは、20年7月、30年までに自社製品の生産や利用を含むサプライチェーン全体で「カーボンニュートラル」を達成する目標を打ち出した。

半導体メーカー



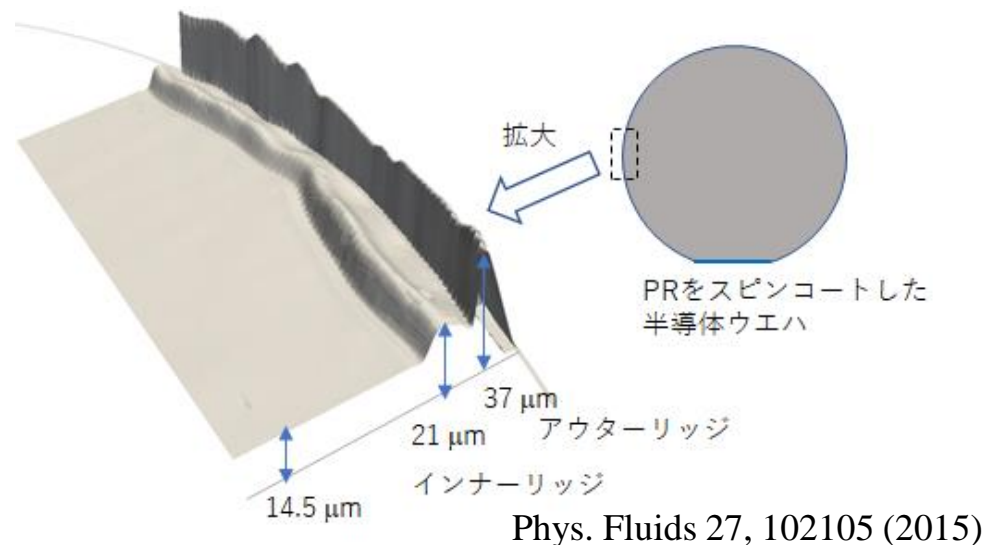
ESGとは、環境 (Environment)、社会 (Social)、ガバナンス (Governance) の頭文字を取って作られた言葉。気候変動問題や人権問題などの世界的な社会課題が顕在化している中、ESGの観点での配慮ができていない企業は、投資家などから企業価値毀損のリスクを抱えているとみなされる。

製造装置メーカー

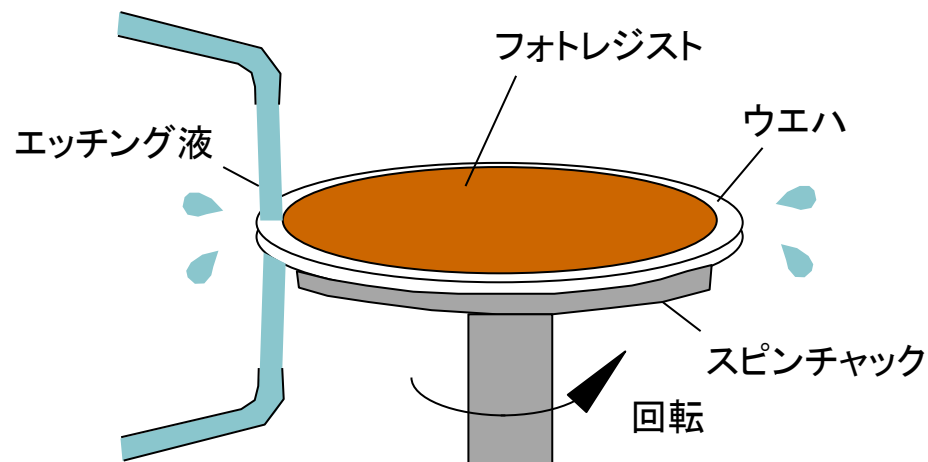
従来の性能、信頼性に加え、製造装置の**環境性能**が選定の重要な要素となっている

従来技術とその問題点

ウエハ端部のフォトレジスト(PR)を除去する Edge Bead Removal (EBR) 工程



PR塗布・プリベーク後に端部に盛り上り (Edge Bead) が生じ、近接露光工程やウエハ搬送で問題となる

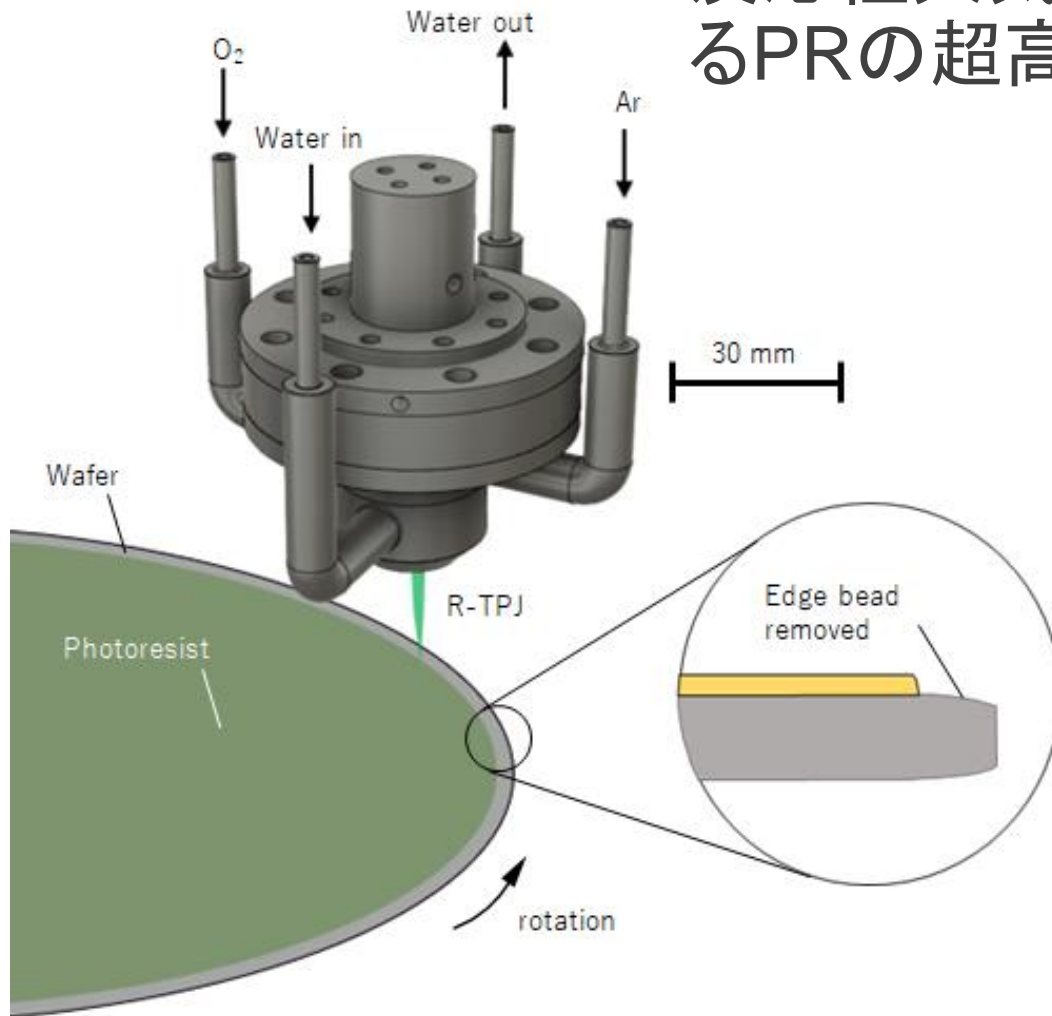


従来技術: 回転するウエハ端部に有機溶剤を供給しPRをエッチング

既に実用化されているものには、有機溶剤によるエッチングがあるが、フォトレジストを含んだ廃液処理の問題がある

新技術の特徴・従来技術との比較

反応性大気圧熱プラズマジェット(R-TPJ)によるPRの超高速エッチング

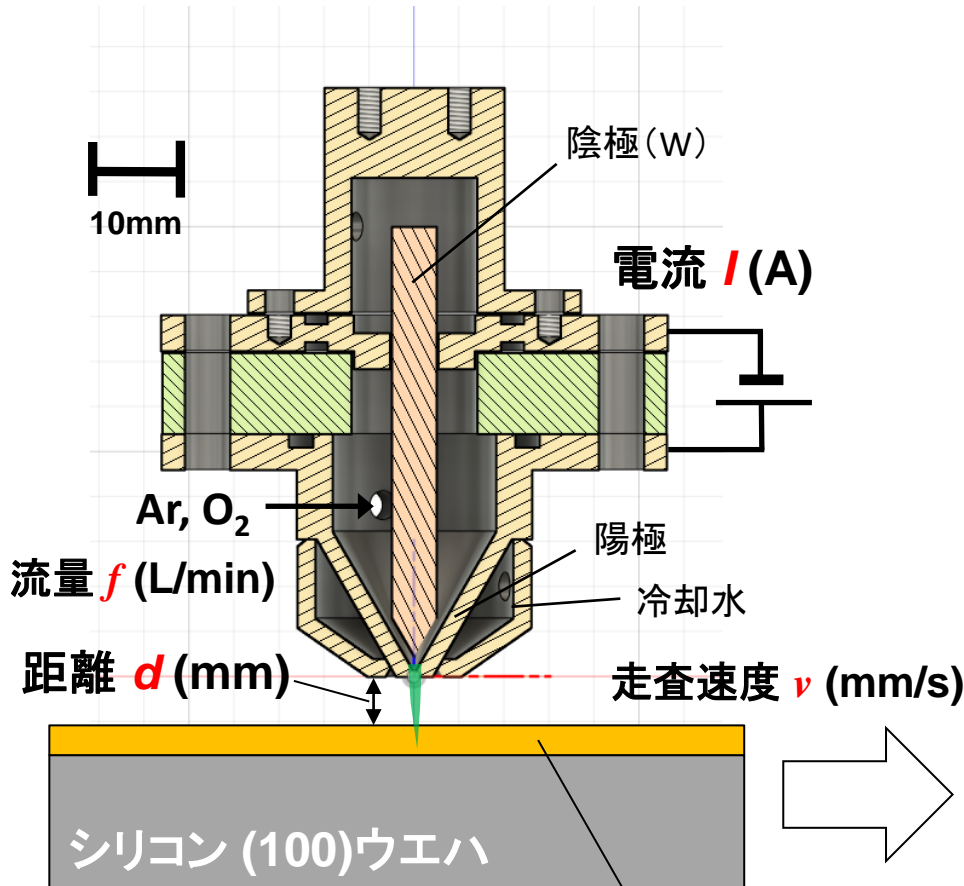


- ・ArおよびO₂のDCアーク放電により発生したR-TPJを回転するウエハ端部に照射し、エッジ部のPRを除去
- ・2台設置し、表裏同時エッチングも可能
- ・コーターデベロッパのEBRをR-TPJで置換える

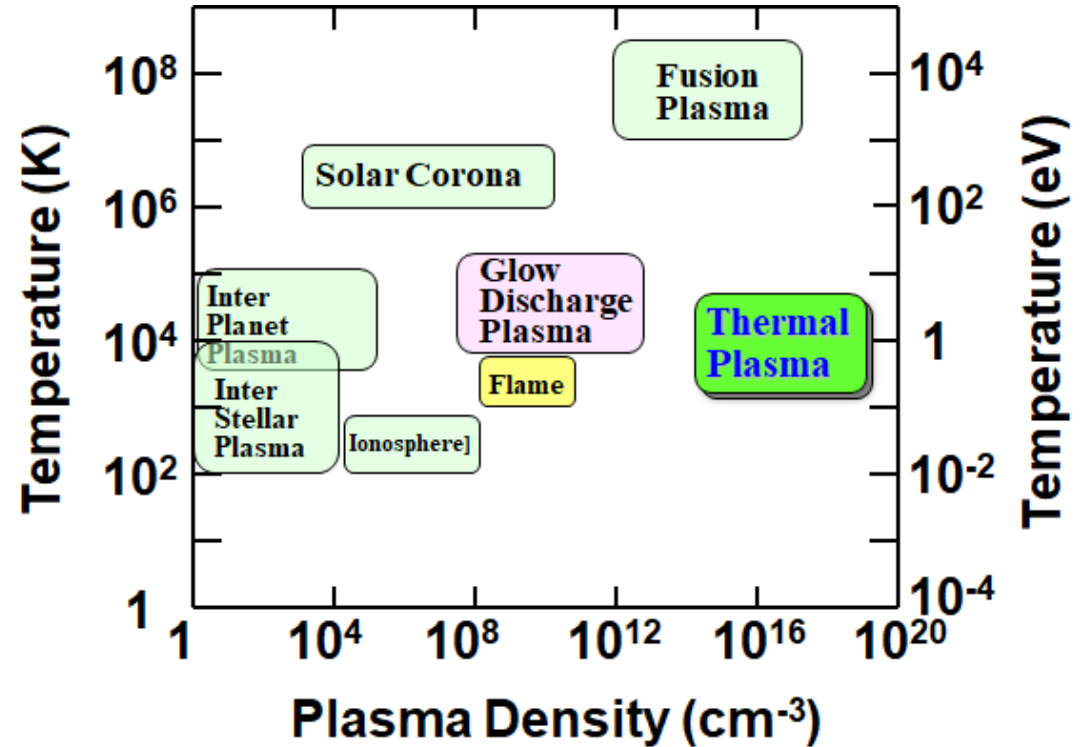
本技術によるフォトレジストエッチング

大気圧DCアーク放電プラズマ

熱プラズマとは、、、



フォトレジスト(東京応化工業株式会社製)
TSMR iP-3300 17cP、スピン塗布(4400rpm)
130°C, 2min ベーク、厚さ~1 μ m



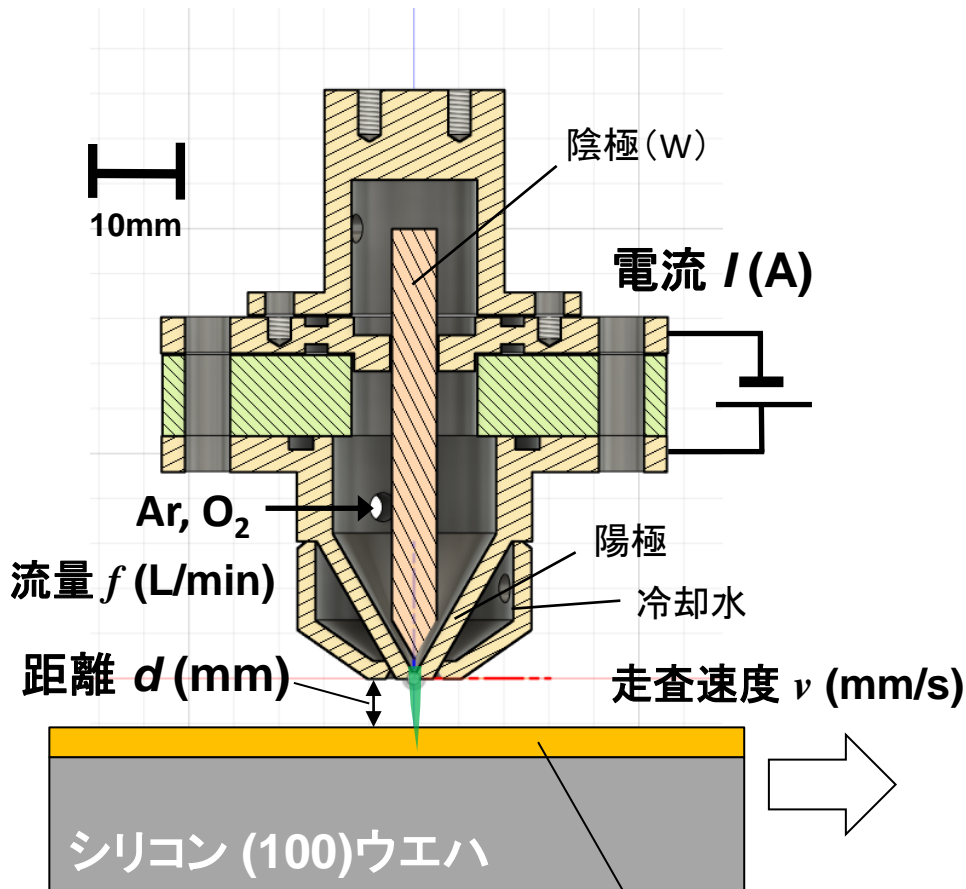
菅井秀郎, 「プラズマエレクトロニクス」(オーム社) より引用

- ・高圧力領域で生成する**超高密度プラズマ**
- ・中性ガス温度と電子・イオン温度が熱平衡に近い
⇒熱化している
⇒**1万度程度の熱流**

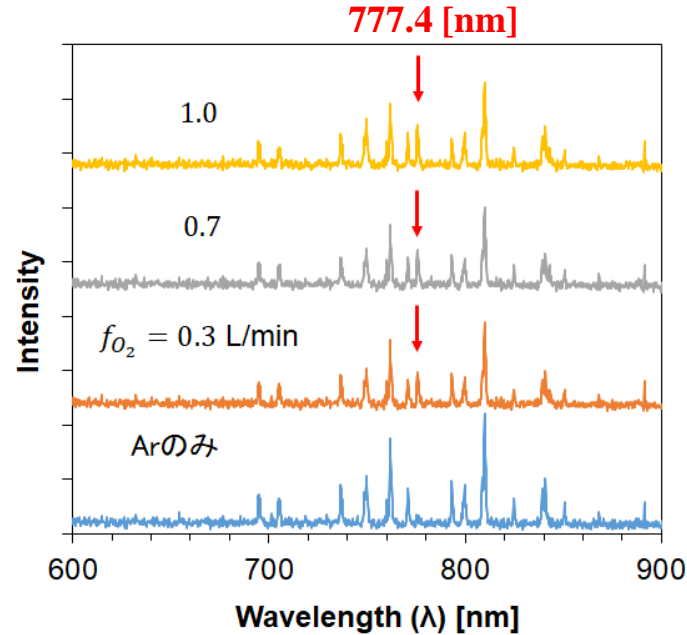
本技術によるフォトレジストエッチング

大気圧DCアーク放電プラズマ

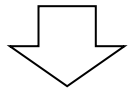
発光分光(OES)



フォトレジスト(東京応化工業株式会社製)
TSMR iP-3300 17cP、スピン塗布(4400rpm)
130°C, 2min ベーク、厚さ~1 μ m



酸素原子の遷移
($3p^5P \rightarrow 3s^5S$)による
発光



・酸素原子の活性種(O^*)が発生
⇒有機物エッチングが可能

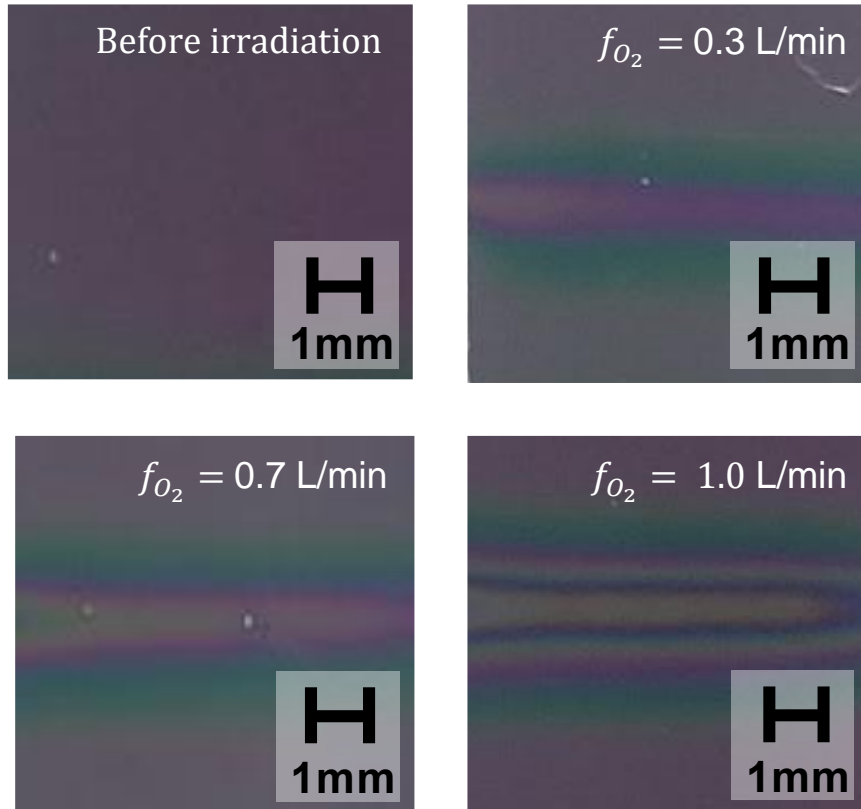
従来の低温プラズマエッチングとの違い

熱プラズマによる**急速加熱**と、酸素原子活性種による**エッチング**が**同時進行**

反応性大気圧熱プラズマジェット

本技術によるフォトレジストエッチング

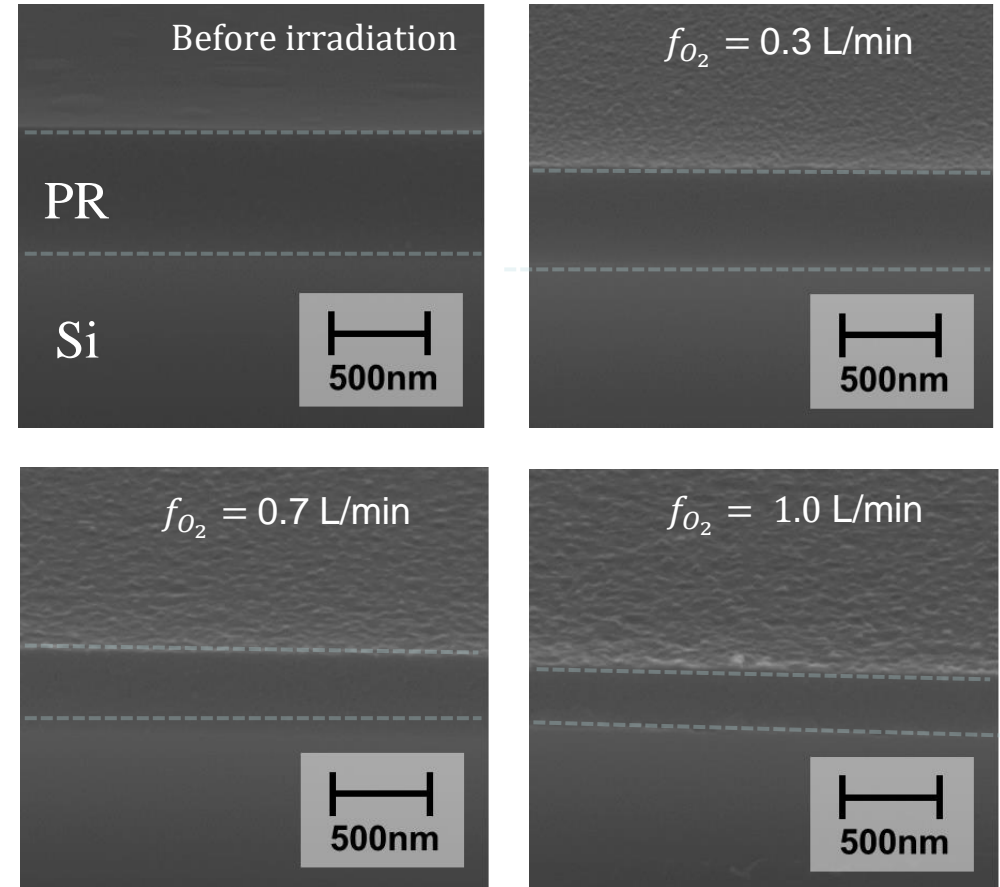
プラズマ照射前後におけるフォトレジストの光学顕微鏡像



$I = 20$ [A], $d = 1.0$ [mm], $f_{Ar} = 1.0$ [L/min],
 $v = 25$ [mm/s]

- ・ プラズマ照射により干渉色が変化
- ・ フォトレジストがエッチングされている

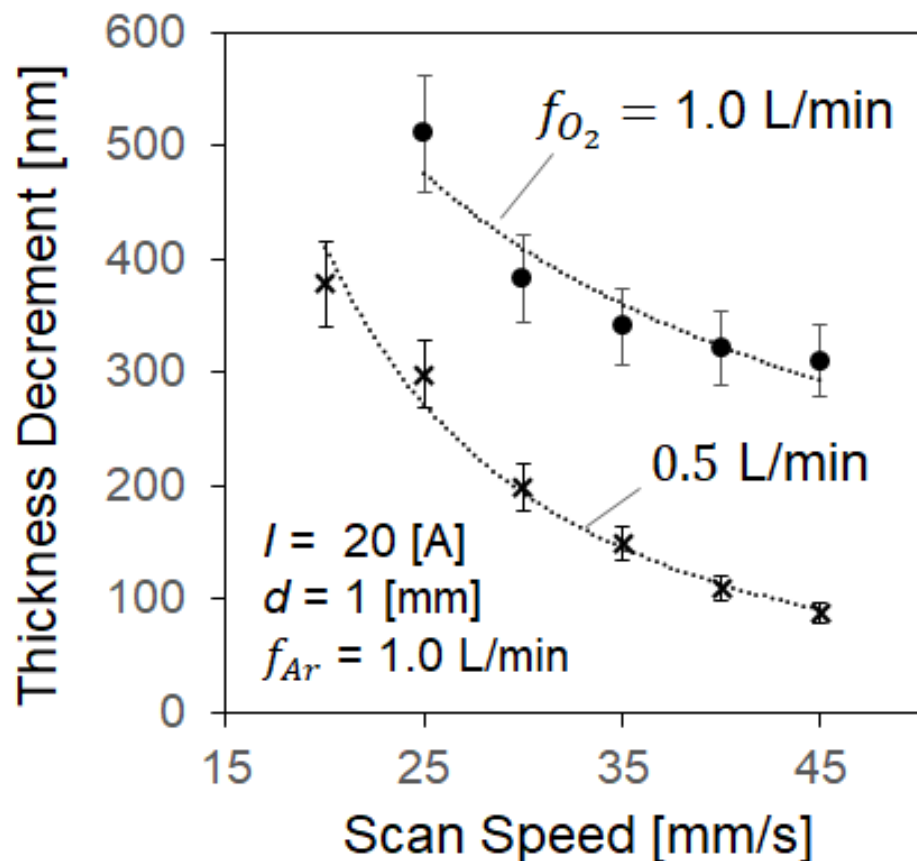
プラズマ照射前後におけるフォトレジスト断面の電子顕微鏡像 (70° 観察)



- ・ プラズマ照射によりレジスト厚が減少
- ・ 酸素流量増加とともに減少量が増加
- ・ レジスト除去後のウエハ表面に残渣なし

本技術によるフォトレジストエッチング

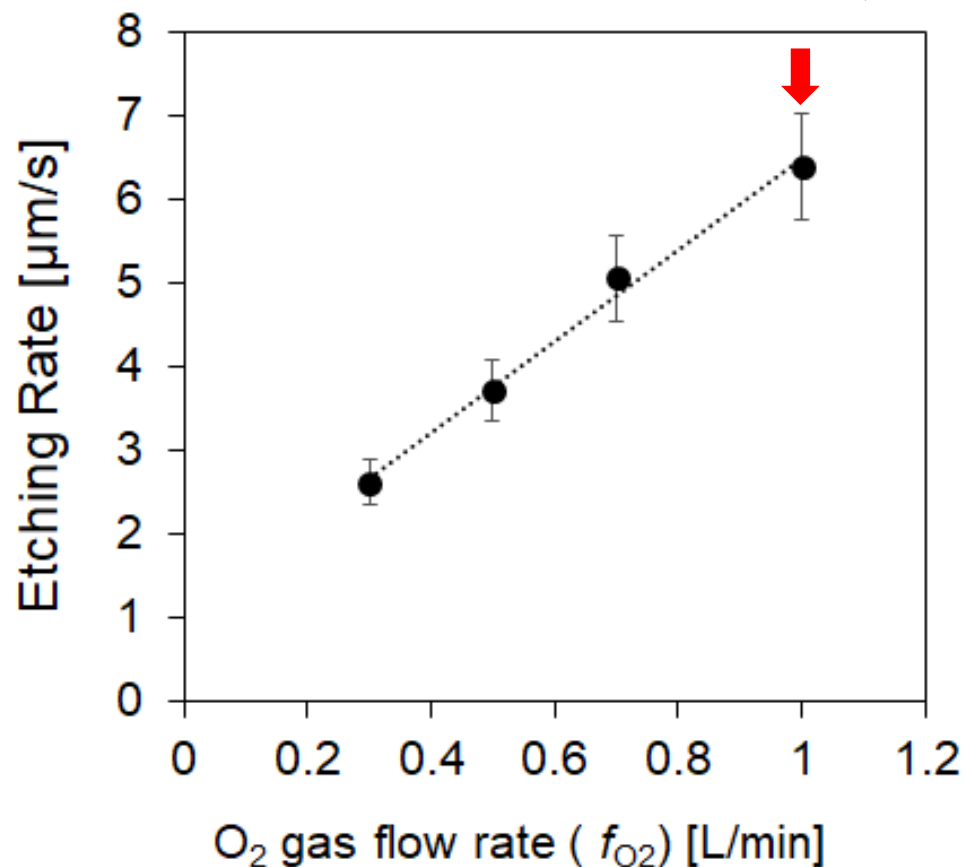
プラズマ照射によるフォトレジスト厚減少量の
走査速度依存性(酸素流量の効果)



- ・ 酸素流量増加に伴いフォトレジスト厚減少量が増加

プラズマ照射によるフォトレジストエッチング
レート*の酸素流量依存性

※プラズマ照射幅を2mmとして算出

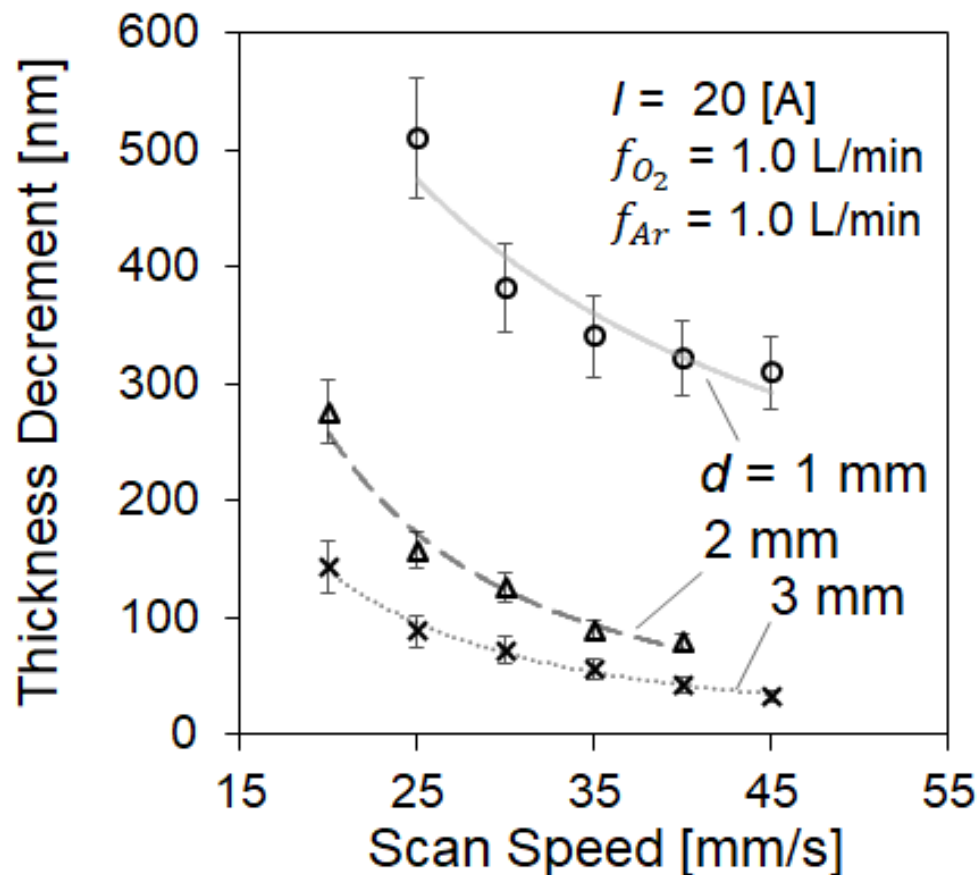


Etching rate ~ **6.3 $\mu\text{m/s}$**

大気圧低温プラズマの約50倍

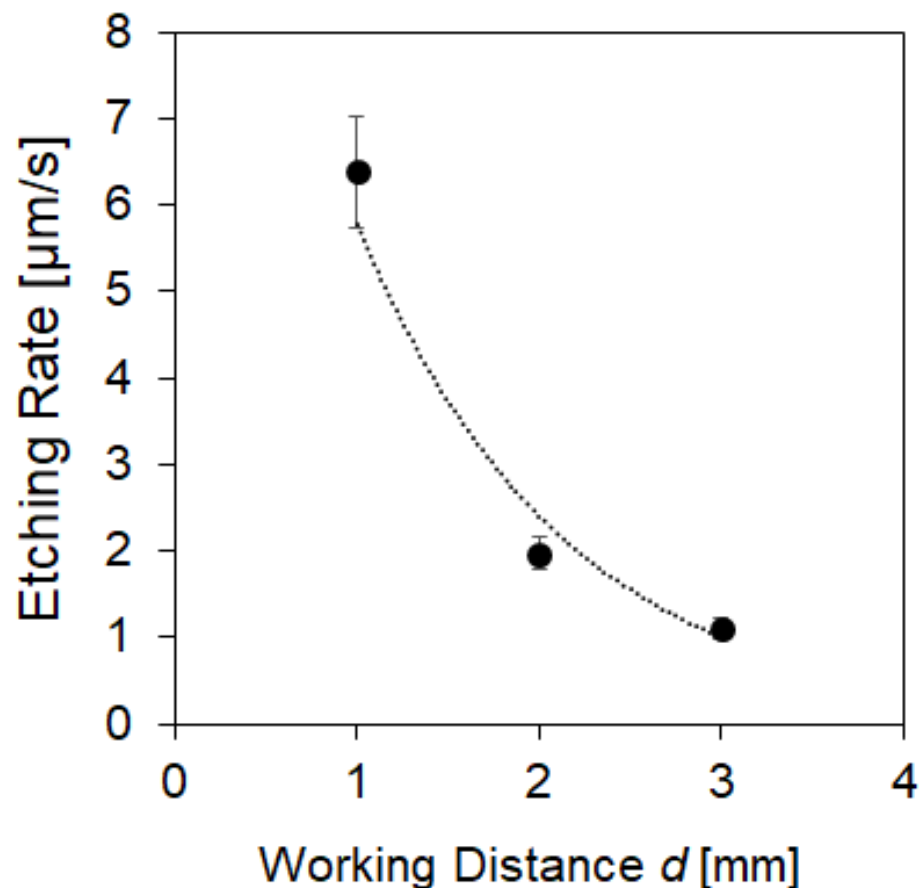
本技術によるフォトレジストエッチング

プラズマ照射前後によるフォトレジスト厚減少量の
走査速度依存性(ワーキングディスタンスの効果)



ワーキングディスタンスを小さくするとフォ
トレジスト厚減少量が大幅に増加

プラズマ照射によるフォトレジストエッチン
グレートの酸素流量依存性



エッチングレートはワーキングディスタンスに
強い依存性をもつ

⇒ フォトレジスト表面の加熱効果を示唆

新技術の特徴・従来技術との比較

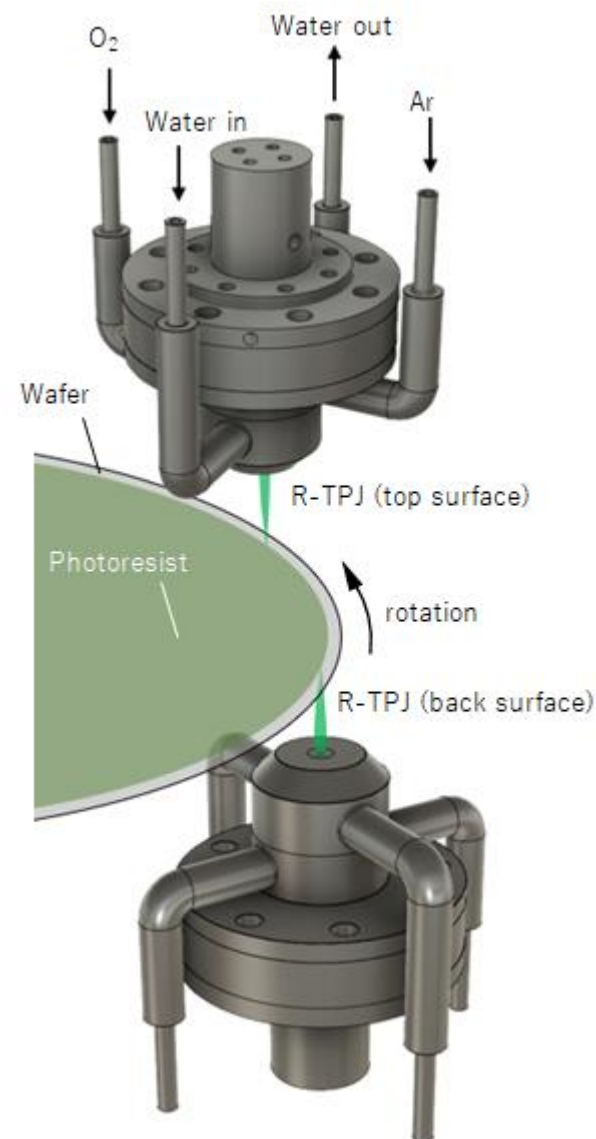
- 新技術は大気圧熱プラズマの急速加熱特性に反応性を持たせた新たなプラズマエッチング技術である
- フォトレジストの超高速エッチング ($6.3 \mu\text{m/s}$) を達成した
- 従来のEBRを大気圧プラズマを用いたドライエッチングに置換える可能性を示した
- 本技術の適用により、EBR廃液に伴う CO_2 排出ゼロの達成が期待できる

想定される用途

- 半導体やフラットパネルディスプレイ製造におけるフォトリソグラフィ工程で、フォトレジスト除去のドライエッチング技術として適用
- 各種有機膜や、厚膜レジストの高速エッチング技術としてメリットが大きいと考えられる
- 上記以外に、エッチングガスを変更することでベベルエッチングへの適用も期待される
- また、達成されたエッチングレートに着目すると、炭素繊維やプラスチック等の加工といった用途に展開することも可能と思われる

実用化に向けた課題

- 今後、反応性熱プラズマジェット発生装置の長時間稼働について実験データを取得し、EBRに適用していく場合の条件設定を行っていく
- 実用化に向けて、表裏同時処理技術を確立し、プロトタイプ機を立上げる計画



企業への期待

- 反応性大気圧熱プラズマジェットによるフォトリジストや有機物のエッチング技術に関心を持つ企業様のサンプル処理を希望
- また、有機廃液削減を考えている企業様には、本技術の導入が有効と思われる

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : プラズマ発生装置、プラズマ発生方法及びエッチング方法
- 出願番号 : 特願2022-131961
- 出願人 : 国立大学法人 広島大学
- 発明者 : 東 清一郎

お問い合わせ先

広島大学

産学連携推進部 産学連携部門

産学官連携コーディネーター

柳 和裕

T E L 082-424-4306

F A X 082-424-6189

e-mail yanagi@hiroshima-u.ac.jp