

配布先:文部科学記者会、科学記者会、名古屋教育記者会

2026年1月9日

報道機関 各位

ウェハを冷却+フッ化水素プラズマでエッチング速度5倍向上 環境負荷低減プロセスも実現、次世代半導体技術の進歩に貢献

【本研究のポイント】

- ・名古屋大学と東京エレクトロン宮城株式会社による共同研究で、革新的プロセス開発を推進。
- ・冷却した SiO_2 表面でフッ化水素と反応生成物の H_2O が共吸着することで、エッチングの活性化工エネルギー閾値をほぼゼロにできる可能性を発見。
- ・反応生成物 H_2O が冷却した SiO_2 膜の表面に自己触媒反応 (autocatalytic reaction)^{注1)}により再吸着することで、エッチング反応を飛躍的に加速できる。
- ・エッチングガスに、従来の地球温暖化係数(GWP)が高いフルオロカーボン系ガスを使用せず、フッ化水素(HF)を用いることで環境負荷が低いプロセスを実現。

【研究概要】

名古屋大学 低温プラズマ科学研究所の 蕭 世男(シャオ シーナン) 特任教授、堀 勝 特任教授らの研究グループは、東京エレクトロン宮城株式会社が従来プロセスと比べて5倍のエッチング速度を実現する革新的半導体エッチング技術を開発したことを受け、同社との共同研究により、ウェハを冷却し、フッ化水素(HF)プラズマを用いる新しい反応性イオンエッチング(RIE)^{注2)}プロセスのメカニズムを明らかにしました。イオン照射によって引き起こされる「イオン強化表面自己触媒反応」によって、二酸化ケイ素(SiO_2)膜のエッチング速度が従来のプロセスと比較し5倍に向上しました。さらに地球温暖化係数(GWP)の高いフルオロカーボン系ガスを使わない環境配慮型プロセスとして、次世代半導体製造の課題解決に向けた産学連携の成果を得ました。

本共同研究の低温下の HF プラズマエッチングでは、エッチング速度がプラズマから照射されるイオンのエネルギー(バイアス電圧の平方根に相当)に対して指数関数的に増加するユニークな現象を発見しました。この劇的な速度上昇は、「イオン強化型表面自己触媒反応」によるものです。すなわち、高いバイアス電圧はより多くの H_2O 反応生成物が形成され、この H_2O が冷却した SiO_2 膜の表面に自己触媒反応 (autocatalytic reaction)により再吸着することで、さらに多くの HF 分子を引き付ける連鎖反応によりエッチング速度を指数関数的に増加させます。この新しいメカニズムの結果、 SiO_2 のエッチングスループットは、従来の室温および低イオンエネルギー条件と比較して、約 2 枠(100 倍程度)も劇的に向上することが実証されました。

本共同研究では、表面触媒反応とイオン強化型相乗効果を活用することで、高アスペクト比(HAR)^{注3)}の次世代半導体デバイスの製造に必要なエッチングのプロセス時間を大幅に短縮し、エネルギー効率を改善しました。さらに、フルオロカーボン系ガスを使用しない HF を前駆体とする環境負荷の低いプロセスを実現したこと、半導体製造技術の進歩と持続可能な開発目標(SDGs)への貢献が期待されます。

本研究成果は、2025年10月15日付の学術誌「Chemical Engineering Journal」に掲載されました。

【研究背景と内容】

半導体の微細化が進み、GAA トランジスタや 3D NAND のような高アスペクト比 (HAR) の複雑な三次元構造の製造が主流になっています。しかし、従来の反応性イオンエッチング (RIE) 技術では、これらの微細構造の奥まで必要な化学種が届きにくくなり、エッチング速度 (スループット) が著しく低下する課題がありました。

本共同研究では、この課題を克服するため、ウェハを冷却し、フッ化水素 (HF) プラズマを使用する革新的なプロセスを提案しました。基板温度を低温 (例えば -60°C) に保つことで、エッチングガスである HF と、エッチングの反応生成物である水 (H_2O) が二酸化ケイ素 (SiO_2) 表面に共吸着します。この H_2O が触媒の役割を果たし (図 1)、 SiO_2 のエッチング活性エネルギーをほぼゼロにまで引き下げる事が判明しました。さらに、イオン照射エネルギー (バイアス電圧) を上げると、反応生成物の H_2O が増加し、それが再び表面に吸着して HF を引きつける自己触媒サイクルが加速されます。この「イオン強化表面自己触媒反応」により、イオンエネルギーに対してエッチング速度が指数関数的に増加するようになります (図 2)。これにより従来技術の線形依存性と異なり、超高速かつ高スループットなエッチングが実現できました。

この新プロセスにより、 SiO_2 膜のエッチングスループットが従来の室温または低イオンエネルギー条件と比較して約 100 倍にまで達することが確認され、省エネルギー・環境配慮も兼ね備えた次世代プロセスの可能性が実証されました。

Synergy of ion-enhanced and surface adsorbed HF/ H_2O for etching

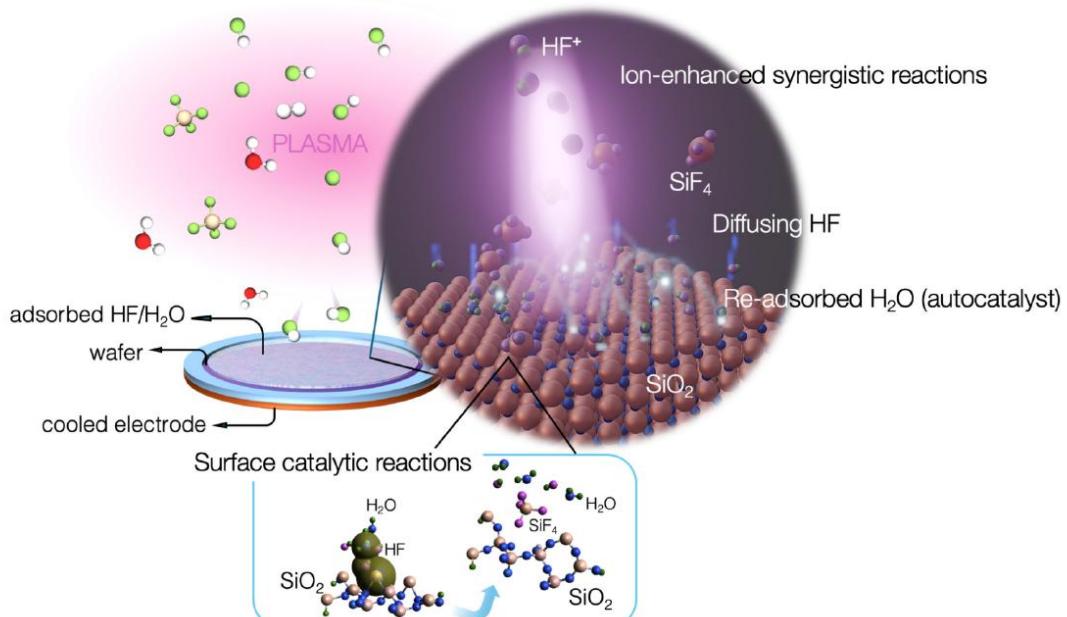


図1: 疑似ウェット HF プラズマエッチング^{注4)}モデルにおけるイオン強化表面自己触媒反応の概略図

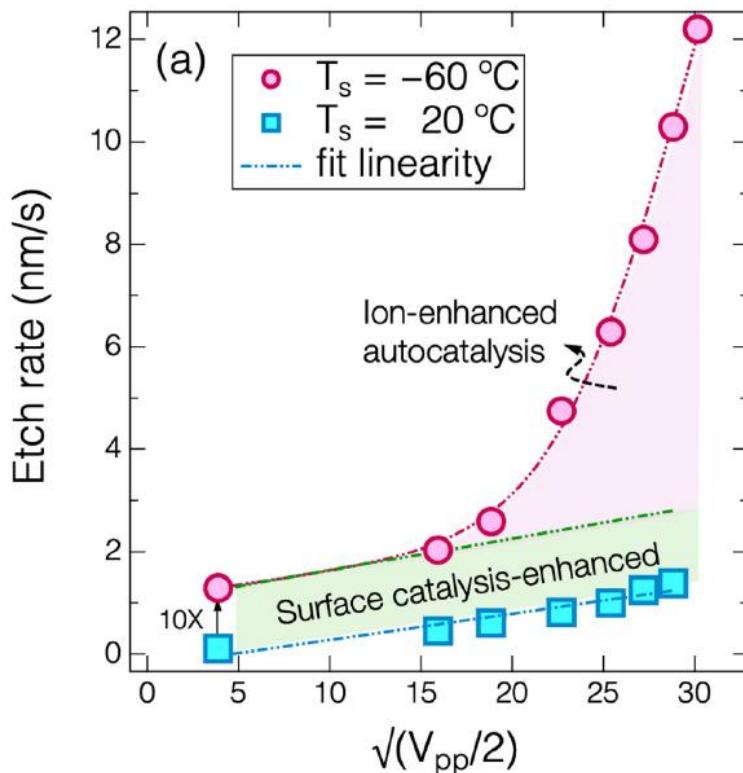


図2:バイアス電圧(イオンエネルギーに相当)とエッティング速度の関係(基板温度 20°C と -60°C の比較)

【成果の意義】

本共同研究では、大学の基礎研究と産業界の製造技術を橋渡しする産学連携で、東京エレクトロン宮城株式会社との共同研究により、実際の製造装置に近い環境での検証が進められています。大学と企業双方の熱意をもって取り組んでおり、今後は半導体製造ラインへの適用、量産プロセスへの展開を目指しています。また、高い地球温暖化係数(GWP)を持つ従来のフルオロカーボン系エッティングガスを使用せず、HFを反応ガスとして用いるため、環境に優しい代替手段を提供しました。スループットの劇的な向上は、プロセス時間短縮とエネルギー効率の改善に直結し、次世代半導体製造の難題を克服するとともに、持続可能な開発目標(SDGs)の達成に大きく貢献することが期待されています。

【用語説明】

注 1)自己触媒反応 (autocatalytic reactions):

反応生成物がその反応の触媒となる化学反応。このため、イオンエネルギーを増加するなどで反応を進行させるほど反応速度が増大することが特徴。

注 2)反応性イオンエッティング (RIE):

プラズマ中の活性な反応性ガスとイオンを利用して、物理的な反応と化学的な反応を同時に利用したエッティングを行い、半導体の微細加工を可能とする技術。

Press Release

注 3)高アスペクト比(HAR):

半導体デバイスにおける溝(トレンチ)や穴(ホール)などの微細構造で、深さに対する開口幅の比率(アスペクト比)が非常に小さい構造を指す。

注 4)疑似ウェットプラズマエッティング(Pseudo-wet plasma etching):

ドライプロセスでありながら、被加工材料表面で液体プロセスに近いエッティング反応を誘起する状態を指す。

【論文情報】

雑誌名:Chemical Engineering Journal

論文タイトル:Revolutionizing reactive ion etching: ion-enhanced surface autocatalytic reactions enabling ultra-high throughput using cryogenic hydrogen-fluoride plasma

著者:Shih-Nan Hsiao, Yusuke Imai, Makoto Sekine, Ryutaro Suda, Yuki Iijima, Yoshihide Kihara, Kenji Ishikawa and Masaru Hori

下線は本学関係教員、学生

DOI: 10.1016/j.cej.2025.167517

URL: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.167517>



東海国立大学機構は、岐阜大学と名古屋大学を運営する国立大学法人です。

国際的な競争力向上と地域創生への貢献を両輪とした発展を目指します。



東海国立大学機構 HP <https://www.thers.ac.jp/>