

第四十回 技術ブレークスルーが起きるとき —高アスペクト絶縁膜エッチング—

木原 嘉英 東京エレクトロン宮城株式会社

2025年2月8日(土) 9:00~

モデレータ 関根 誠

概要

本講演では、プラズマエッチングの基本的なメカニズムと、高アスペクト比加工の課題が詳しく説明された。特に、従来技術の限界を克服する、ALD(原子層堆積)とエッチングを組み合わせた「フュージョンプロセス」、さらに、基板温度を下げてエッチングする「クライオプロセス」が紹介された。

プラズマエッチングは、Si や SiO₂ などの材料を高精度に微細加工する技術で、選択比(エッチング対象とマスク材料の加工速度比)、異方性の制御、均一性、再現性、ダメージ低減などの要素が重要である。近年、DRAMの微細化や3D NANDの積層化が進むにつれ、パターンのアスペクト比が増大している。

高アスペクトエッチングでは、デプスローディング(ホール深部ほどエッチング速度が低下する現象)の他に、ホールのエッチング形状劣化が課題となり、素子性能や製造歩留りに悪影響を及ぼす。特にボーイング(ホール側壁が膨らみ、デバイス性能に影響を及ぼす現象)は、隣接ホールとの干渉や CD(Critical Dimension)の不均衡を起こす。フルオロカーボン(CF)系ガス(C₄F₆, C₄F₈, C₃F₈等)を用い、CFポリマーの堆積制御によりボーイングを抑制可能だが、クロッキング(マスクの開口が閉塞し、エッチングが停止する問題)やエッチストップといった別の問題が生じる。このブレークスルー(BT)技術として、カバレッジ制御ALDにより、スモールボトムCD(エッチング底部が収縮し、形状維持が困難になる課題)を起こさずボーイングを抑制する「フュージョンプロセス」を開発した。

この技術は、ALD(吸着・アクチベーション・パージの3ステップ)とエッチングを組合せ、形状を最適化する。まずCF系ガスにより途中までエッチングし、Si含有前駆体とO₂/Arプラズマを用いALDを実施する。その後、再度エッチングを行いボトムまで加工する。アクチベーションステップにカバレッジが変化するため、その時間の調整により、ALDカバレッジを制御し、最適な成膜条件を導いた。シミュレーションによって理想的な成膜条件を探索し、高アスペクトの垂直形状を実現した。しかし、ALDとエッチングの組合せにより処理時間が増加し、メモリー製造の量産コストが上昇するという課題もある。

2番目のBT技術として、エッチング速度を上げ、デプスローディングを緩和し、高アスペクト比のSiO₂エッチング性能を向上させる「クライオプロセス」を紹介する。

基板温度を下げることにより、SiO₂エッチング速度が飛躍的に上昇する。CF₄/H₂ガスのプロセスプラズマを発光分光法や質量分析法により分析したところ、プラズマで生成したHFと反応生成物のH₂Oが高速エッチングの重要な反応種であることが判った。そこで、HFガスを直接導入することで、SiO₂エッチング速度を3倍に向上することに成功した。ここで、反応生成物であるH₂OとHFのSiO₂表面における低温下での共吸着がエッチング反応を促進する重要な要因であることを確認した。また、リン含有ガス(PF₃など)の添加で、共吸着現象を加速し更にエッチング速度を向上できる。この低温におけるHF/PF₃ケミストリーにより、3D NANDのON積層膜を深さ10μm、エッチング速度を2倍以上に向上させ、側壁の保護も反応生成物によって実現されるため、より優れたエッチング形状が得られる。また、環境負荷の面でも優れ、CO₂排出量を従来比84%削減できる。本技術は次世代NANDメモリーの高アスペクト比エッチングにおいて、大きな可能性を秘めている。

産業界におけるBT技術について考察した。結局、シーズとなる技術は実は50~40年ほど前に発明されている。ALDが70年代、ALEや低温エッチは80年代。ここで、産業界が必要とするタイミングとのマッチングが重要で、親和性の高い応用が出てこないと採用されない。実用化に必要な周辺技術もある程度成熟し、+αのアイデアが登場すると技術が創出され、社会実装される。

最後に、開発者として、時代のニーズに応じたゴール設定に必要なことには二つの考え方があり、開発者マインド(好奇心・探究心・使命感・プレッシャー等)と実務能力(知識・考察洞察力・コミュニケーション・情報収集力等)がある。研究者、マネージャなど立場に応じ、バランスをとり、協調性と謙虚性を保ちながら、マインドと実務能力を生かした実行力によって、BTを実現できればと考えている。

(記: 関根 誠)