

第二十七回 高アスペクト比エッチングプラズマにおけるイオン挙動**豊田 浩孝 名古屋大学**

2023年12月9日(土) 9:00~

モデレータ 関根 誠

概要

近年の半導体デバイスは2Dから3Dへと進化している。その進化はメモリから先駆的に始まり、ロジックや他の半導体デバイスへと広がっている。3D化には、幅が細く深い穴の加工、つまり、高アスペクト比構造をもつ微細孔を形成する異方性エッチングプロセスの重要性が増している。しかし、高アスペクト比孔内のイオンの振る舞いについては必ずしも多くの知見があるわけではなく、特に(1)入射するイオンの角度分布、(2)入射するイオンの組成、(3)微細孔表面の正電荷チャージングは未解明な部分が多くある。講演ではその高アスペクト比の形成に重要なイオンの振る舞いについて最近の実験的な挙動解析からご解説いただいた。

反応性イオンエッチングでは、プラズマによって生成されるラジカルが材料表面と化学的に反応することが重要であり、シースで加速されたイオンが表面に対して垂直に入射することで、ラジカルと材料との反応を促進し異方性エッチングを実現している。微細孔の形成には理想的にはイオンは90°で入射することが望ましいが、実際には入射角度分布をもつことが知られている。また、プロセス中のイオンはシース内で中性粒子と電荷交換することで中和され、異方性を持った高速中性粒子として微細孔へ入射する。この高速中性粒子は高アスペクト比エッチングにおいては重要な役割を果たすが、入射角度分布に対する知見はほとんどない。講演者は、イオンと高速中性粒子のそれぞれの入射角度分布を初めて実験的に観察し、イオンの角度拡がりエネルギーに対して線形に減少し、3.5 keVで0.25°となることがわかった。このイオン角度拡がり、アスペクト比100に対して広く、イオンによる側壁エッチングの抑制も重要であると考えられる。一方で、高速中性粒子の角度拡がりにはさらに大きく、側壁に衝突せずに底面に供給される量はイオンに比べ減少することが予想される。さらに、イオンは入射角度分布を持つことに加え、微細孔側壁表面に電荷が蓄積されることでイオン軌道は妨げられる。講演者は、キャピラリープレートを用いて微細孔を模擬し電荷蓄積を計測し、バイアス電圧とアスペクト比との関係性を明らかにし、高アスペクト比ではイオンのみ底面に到達し正に帯電するが、さらに高アスペクト比になるとイオンすらも到達しない領域も存在することが明らかとなった。

反応性イオンエッチングでは底面でのラジカル反応が重要であるが、微細孔側壁での失活によりアスペクト比が高くなるにつれ底面に到達できる量は減少する。そのため、イオンは本来のラジカルの反応を促進する役割ではなく、イオン自身がエッチャントとなり化学的反応を担うことになり、プラズマ中のイオン組成の制御がますます重要となってくる。高アスペクト比エッチングで用いられているパルスプラズマでは、イオン組成比が時間変化し、高アスペクト比のエッチング速度もその組成比と相関があり、イオンがエッチング反応に寄与していることが示唆された。

微細孔内のイオンの振る舞いはまだまだ未解明な部分が多いため新たな計測手法を必要とされており、実験装置をよく熟知し計測の幅広い技術と知識を有することが重要であるとご助言いただき、本講座は終了した。(記：堤 隆嘉)