

第十五回 半導体製造における原子層プロセスの物理

浜口 智志 大阪大学

2022年12月10日(土) 9:00~

モデレータ 堀 勝

概要

半導体製造プロセスの前工程の主力はプラズマプロセスであり、数多くの工程でプラズマプロセスが利用されている。しかしながら、この重要な最先端プロセスであるプラズマは、気相-シース-表面の多階層的な反応であるがゆえに現象は複雑であり理解は難しい。この多階層プラズマプロセスの理解のための実験的解析と数値シミュレーション解析の両方の側面から研究を進めていく必要性を、研究成果を用いてご紹介いただいた。

半導体素子はプレーナ構造から 3 次元デバイス構造へと進化しており、プラズマプロセスに要求される条件も当然厳しくなっている。具体的には、高アスペクト比孔内の効率的エッチングや原子層プロセス(堆積やエッチング)やダメージレスプロセス、新規材料プロセス、異方性エッチングと等方性エッチングの組み合わせた 3D 加工プロセスなどが挙げられる。現在は、これまでのプロセスの延長ではない新たなプロセス技術の研究開発が必要であるパラダイムシフトを迎えている。

プラズマプロセス物理の解明が困難な理由の 1 つは、プラズマ(マクロ)から表面反応(原子・分子スケール)まで含んだ多階層のプラズマをまとめて解析することができないためである。気相・シース・表面のそれぞれの階層を実験装置と数値シミュレーションにより解明することで、階層間の繋がりを理解し全体をとらえる必要がある。

マクロのプラズマを理解するため、プラズマ実験ではプローブや発光分光法などのプラズマ計測で得られた結果と構造メッシュ粒体モデル有限堆積法による 2D シミュレーションを照らし合わせることでシミュレーションの精度を上げ、理解を深めている。

次に、シースと表面反応の素過程をビーム実験に置き換えた実験的シミュレーションにより理解することができる。ビーム装置では質量分離しエネルギー制御されたイオンを物質表面に照射することで、エッチング率のイオン種依存性やイオン入射角度依存性などを知ることができる。これら依存性は、分子動力学や第一原理計算により原子スケールの表面反応シミュレーションを用いて定量的に反応を理解することができる。

マクロのプラズマ実験とプラズマシミュレーションにより表面に入射するイオンやラジカル種を推定することができ、ビーム実験と原子スケールシミュレーションにより原子・分子スケールのプラズマ表面相互

を理解することが可能となり、多階層なプラズマプロセスの全体の理解を実現している。今後は実験と数値シミュレーションに加えて機械学習が組み込まれ、これらが密接に連携した研究体制の構築と基礎的な物理データの蓄積が、今後ますます重要となる。(記: 堀 隆嘉)

プラズマプロセスの多階層性

