

第二十一回 原理から考える絶縁膜 HAR エッチング装置の発展と展望 ～次世代エンジニアは技術とどう向き合うべきか～

大矢 欣伸 東京エレクトロン宮城株式会社

2023年6月10日(土) 9:00～

モデレータ 長谷川 功宏

概要

半導体製造プロセスの前工程の一つである高アスペクト比 (HAR: High Aspect Ratio) 構造体のプラズマエッチング技術のこの 10 年から 20 年の装置の発展と課題をご紹介いただいた。

HAR エッチングの装置開発は 1980 年代の単周波容量結合プラズマ装置から始まり、1990 年代に RF 電源を 2 つ搭載した二周波容量結合プラズマや磁場を用いたマグネトロン RIE、2000 年代後半から現在まで採用されている「二周波+DC 重畳」や「三周波」の装置が登場してきた。2010 年頃から形状制御や均一性改善のためにシンクロパルス放電方式が装置に導入された。(参考: 関根誠, 「プラズマエッチング装置技術開発の経緯、課題と展望」)

絶縁膜の HAR エッチング装置の開発においてガスの滞在時間は重要なパラメータである。滞在時間を短くすることで CF 系ガスの過剰解離を抑制する。この点で放電領域が狭い平行平板の CCP が他の放電方式と比較し有利であるため、CCP が現在の絶縁膜 HAR エッチング装置に採用されている。CF 系のガス解離の反応速度式は数値計算により簡単に導出することができる。しかしながら、導出された反応速度定数から見積もった気相中のラジカル密度は実験値とは乖離があるように思われる。これは高分子ラジカルの表面反応モデルの精度が不十分であり、反応断面積や表面反応確率といった高信頼性のデータベースの構築が必要不可欠である。

HAR エッチングの大きな課題に ARDE (Aspect Ratio Dependent Etching) がある。ARDE はエッチング速度などのエッチング特性がアスペクト比に依存することであるが、この原因の 4 つの主要メカニズムはホール側壁でのラジカル吸着とクヌーセン拡散、入射イオンの角度分布広がり、電子シェーディングである。ラジカル吸着とクヌーセン拡散により HAR 構造内の穴底にはラジカルのフラックスが減少する。穴底へのラジカル供給量を増加させるためには、ラジカル種と表面材料との反応速度や物理吸着確率の観点でプロセス開発する必要がある。荷電粒子である入射イオンは角度広がりをもっているためラジカル同様に穴底への供給量が AR と共に低下する。このため高バイアス印加によるイオンの高エネルギー化が進められてきた。

パルスプラズマが現在の絶縁膜 HAR エッチングでは主流である。これはプラズマ中の化学組成比の変化によるエッチング選択比の改善や CF 堆積膜の形状制御、負イオンの生成と表面への入射によるツイスティングなどの異常形状の回避、荷電粒子密度の均一化などの効果があるためである。特に CF 系ガスでは負イオンが電子密度と同程度生成するために壁への電子入射やバルクプラズマ構造など大きく影響を与えるため系統的な負イオン密度計測と解明が今後も必要である。

最後に、日本の経済成長にとって次世代エンジニアが国内の豊富な知的資本を十分に吸収してものづくりの生産性に向きあうことが重要であると、人的資本向上のための人材育成への期待を述べていただき、本講座は終了した。(記: 堤 隆嘉)