

クラスターイオンビーム励起による表面反応と原子層エッチングへの応用

兵庫県立大学 大学院工学研究科 電子情報工学専攻
豊田紀章

1. はじめに

リモートワークの拡大やオンデマンドサービスの普及、スマートフォンやパソコンの更なる高度化、IoTを用いたビッグデータ解析、電気自動車や自動運転車の進化など半導体需要の拡大が続いており、民間企業のみならず政府の国家技術戦略としても半導体技術が注目されている。これら半導体デバイス製造においては、微細加工技術や三次元構造化などの加工技術がキーとなっている。各種加工技術中でもエッチング技術は露光技術と並ぶ重要技術であり、微細加工だけではなく、ウェハ面内の均一性、三次元構造化の加工、スピントロニクス用材料等の新規材料の加工など、様々な要求に応えることが求められている。

近年、これらの課題を解決する技術として、原子層エッチング (Atomic Layer Etching: ALE) が再び注目されている¹⁾。ALE はデジタルエッチングとも呼ばれ、1990年代に盛んに研究されたが²⁾、当時はデバイス加工に原子レベルの精度が必要なく、加工速度の低さなどから実際のプロセスには適用されなかった。しかし、現在では原子層堆積 (Atomic Layer Deposition: ALD) 技術の実デバイスへの適用や、原子レベルの精度・均一性の必要性から、ALEの研究が進められている。

ALEでは図1に示すように、反応性分子の吸着、残留ガスの排気、表面層除去過程がそれぞれ独立に行われ、これらの過程を繰り返すことによって原子レベルの加工が行われる¹⁾。ALEでは吸着・除去過程が自己律速 (Self-limiting) である、つまり自然に停止するというところに大きな特徴がある。一般的な反応性イオンエッチングでは、プラズマからのラジカルと指向性イオンの照射が同時に起こるため、照射量のバラツキなどにより原子レベルでウェハ面内を均一加工することが困難である。一方、ALEでは自己律速な分子吸着や表面層除去を繰り返してエッチングを行うため、照射量のバラツキがあっても、均一性の良い原子レベルエッチングが可能となる。

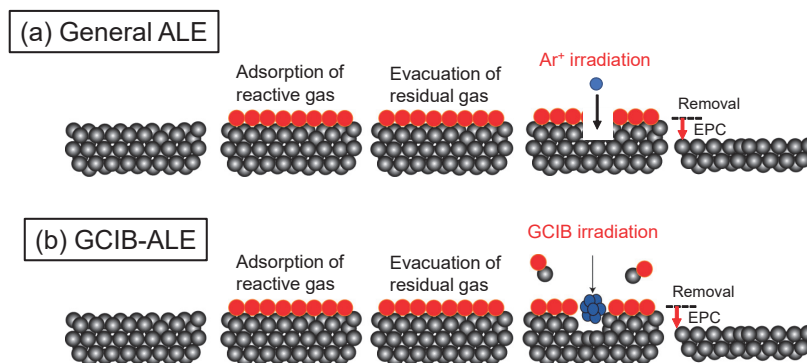


図1 一般的な原子層エッチング (ALE) と GCIB を用いた ALE の流れ

ALEの除去過程には熱やプラズマなどのイオン照射を用いる。熱ALEでは無損傷でエッチング可能であるが、昇温が必要であり、加工形状が等方性となる。一方、イオン照射を用いると低温で異方性ALEが可能となる。イオン照射による表面層除去では、表面結合エネルギー近辺のエネルギーを与え、表面層のみを除去することが重要となる³⁾。イオンのエネルギーが高いと、物理スパッタによ