

最先端エッチング技術の動向と将来の展望

Latest trends of leading etch technology and future prospects

東京エレクトロン宮城株式会社 ○本田 昌伸, 勝沼 隆幸, 久松 亨, 木原 嘉英

Tokyo Electron Miyagi Limited, ○Masanobu Honda, Takayuki Katsunuma, Toru Hisamatsu, Yoshihide Kihara

E-mail: masanobu.honda@tel.com

半導体デバイスの高集積化, 微細化に伴い, 半導体製造工程で用いられるプラズマエッチングへの技術的要求は非常に高くなっている。要求されるパターン形状および寸法(critical dimension, CD)を実現するため, 超高選択比を有するエッチング技術や原子レベルでの CD 制御技術が求められる。昨今, これらの課題を克服する手法として, 表面反応を原子オーダーで制御できる原子層制御技術が注目され, 最先端エッチングプロセスに適用され始めている。

Atomic Layer Etching(ALE)プロセスは, エッチャントの表面吸着過程とイオン照射によるエッチング反応過程を分離し, 各過程を繰り返し実施することでエッチングを行う。ここで, 各過程は最表面層と反応するとそれ以上反応が進まない自己律速型反応(Self-limited reaction)を有するため, 原理的にはウェーハ全面において, パターン依存なく, 原子オーダーで極めて均一なエッチングを実現できる。また, エッチャントの吸着反応が Self-limited でない SiO₂ etch の場合でも ALE と同様のシーケンスを用いることで表面反応を緻密に制御でき, 超高 SiN 選択比を得ることができる。¹⁾ この手法は厳密な意味では ALE でないため Quasi-ALE と呼ばれる。Quasi-ALE は, Real-ALE と異なりウェーハ面内の均一性をコントロールする必要があるため, 装置に搭載される面内制御ノブのさらなる高度化が求められる。

CD 制御技術においては, Atomic Layer Deposition(ALD)とエッチングを融合させた新しいプロセスフローが開発された。従来のパターンニング工程では, フルオロカーボン(Fluorocarbon, FC)膜を用いて CD を縮小させるが, 各パターンのアスペクト比(Asspect ratio, A/R)の違いにより各パターンエリアに到達する FC ラジカル量が異なるため, A/R が低いパターンほど CD shrink 量が大きくなる CD loading が引き起こされる。²⁾ ALD プロセスでは, Precursor 吸着過程が Self-limited 反応であることから, パターンの A/R やウェーハポジションに依らずコンフォーマルな膜が形成される。ALD プロセスをエッチングフローに組み込むことにより, 様々なパターンに対して CD loading を発生させずに, ウェーハ面内で均一に CD を制御することが可能である。¹⁾

メモリの製造プロセスにおいては, 微細化の世代が進むにつれてエッチング形状の A/R が増加している。高 A/R 構造の形状加工においては, 深さ方向全体にわたって CD が均一な垂直形状が理想である。しかし, A/R が増加するにつれて, FC polymer による間口の Clogging, ホール中間部が樽型の形状となる Bowing, コンタクト抵抗に影響する Bottom CD の縮小, Depth loading によるマスク選択比の低下といった多様な課題が顕在化してくる。これらは互いにトレードオフの関係にあるため, プロセスパラメータの調整といった従来手法での改善には限界がある。これらのトレードオフを克服する取り組みのひとつとして, エッチングの進行状況に応じてプロセス条件を調整する手法が挙げられる。加工深さに合わせて活性種, 温度, イオンエネルギーなどの物理量を変化させることで, 側壁保護膜の形成位置やイオンの衝突位置などを変化させ, Clogging や Bowing を改善するねらいがある。加えて, 本手法に堆積プロセスを組み込むことによりマスクやホール側壁に保護膜を形成する新たな手法も検討されている。

しかし, 様々なプロセスを複雑に組み合わせる最適化することは容易ではない。そこで, プロセスレシピ構築に AI や機械学習を導入することが模索され始めている。このような『n 次元のパラメータ+時間関数』の組み合わせ最適化問題に対して AI や機械学習が適用されることで, さらなる加工性能向上が実現されることが大いに期待されている。

1) M. Honda, T. Katsunuma, M. Tabata, A. Tsuji, T. Oishi, T. Hisamatsu, S. Ogawa and Y. Kihara, J. Phys. D: Appl. Phys., Vol.50, No.23, (2017)

2) N. Kuboi, T. Tatsumi, M. Fukasawa, T. Kinoshita, J. Komachi, H. Ansai and H. Miwa, J. Vac. Sci. Technol. A31, 061304, (2013)