

二周波容量結合型 Ar/C₄F₈/O₂ プラズマにおける 電力変調方式がイオン組成に与える影響

Effect of power modulation scheme on ion composition
in a dual-frequency capacitively-coupled Ar/C₄F₈/O₂ plasma.

名大工¹, 名大低温プラズマ², 核融合研³

○(M1)加藤閣人¹ (B)赤塚勇大¹, (M2)関悠斗¹, (D)久保井宗一¹, 鈴木陽香^{1,2}, 豊田浩孝^{1,2,3}

Nagoya Univ.¹, cLPS, Nagoya Univ.², NIFS³

○Haruhito Kato¹, Yudai Akatuka¹, Yuto Seki¹, Shuichi Kuboi¹, Haruka Suzuki^{1,2}, Hiroataka Toyoda^{1,2,3}

E-mail: kato.haruhito.s7@s.mail.nagoya-u.ac.jp

1. 背景

近年、半導体メモリデバイスの需要が増加し、デバイスの大容量化を目指し高積層化が進んでいる。そのため、より高いアスペクト比 (HAR) のホール加工技術が求められており、二周波容量結合型プラズマ (Dual-Frequency Capacitively-Coupled Plasma: DF-CCP) を用いた反応性イオンエッチング (Reactive Ion Etching: RIE) が使用されている。HAR ホール RIE では、中性ラジカルはホール側壁への付着によりホール底部に到達しづらく、ホール底部へのフルオロカーボン活性種の輸送においてもイオンの寄与が大きくなる。また、ホール底部の電荷蓄積を緩和するために On-Off パルス変調を含めた電力変調が行われている。そのため、イオン組成が時間変化するとプロセスへの影響も懸念される[1]。これまで我々は、Ar/C₄F₈/O₂ プラズマの On-Off パルス変調がイオン組成に影響を与えることを明らかにしてきた。今回、電力変調がイオン組成の時間変化に及ぼす影響を調査したので報告する。

2. 実験装置

円筒型真空容器(直径 160 mm)内にガスマニホールドから Ar/c-C₄F₈/O₂ を 34/4/2 sccm で導入し、圧力を 4 Pa とした。平行平板電極(直径 110 mm、間隔 30 mm)に整合器を介して VHF(40 MHz)及び LF (2 MHz) 電源が接続され、両電源は 1 kHz、Duty 比 50% で電力変調される。イオン計測にはエネルギー分析機能を持つ四重極質量分析器 (Quadrupole Mass Analyzer: QMA) を用いた。オリフィス(直径 0.1 mm)にて抽出されたイオンは、エネルギーおよび質量分離され検出される。

3. 実験結果

VHF 電力 100 W、LF 電力 20 W を On-Off 制御したプラズマと、LF 電力は印加せず VHF 電力を 100 W-50 W で High-Low 制御したプラズマにおいて、イオンエネルギー分布 (Ion Energy Distribution: IED) の時分解計測をおこない、得られた IED を積分することで、各時刻のイオン信号強度を得た。代表的なイオン (Ar⁺, C₂F₄⁺, C₃F₅⁺) について、パルス On あるいは電力を High にした時刻を基準とし、その後の時間 (T_c) に対する組成比変

化を On-Off および High-Low 制御それぞれについて測定した結果を Fig.1(a) および (b) に示す。On-Off 制御では On 直後において Ar⁺ が多く生成されるが、時間経過とともに Ar⁺ が減少し、C₂F₄⁺ や C₃F₅⁺ が増加する。これは、パルス On 直後の高電子温度とその後の電子温度低下に起因するイオン生成レート比の変化によるものと考えられる。一方 High-Low 制御においても、組成比の時間変化に若干の緩和がみられるものの同様の変化が確認され、On-Off 制御だけでなく High-Low 制御においても電力変調時に電子温度変化とそれに伴うイオン組成変化が引き起こされている。以上より、一般にプラズマ密度増加は必然的に電離レートの瞬間的な増加によるものであり、この際の電子温度変化がイオン生成レート比の変化をもたらす得るものであることを示唆している。

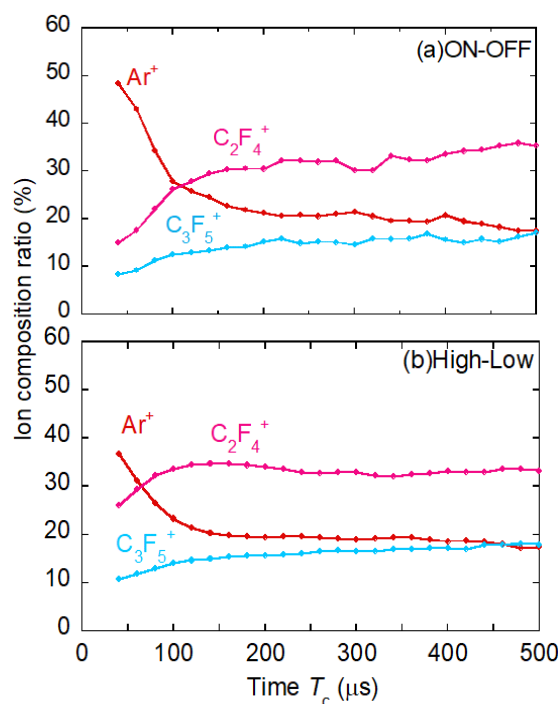


Fig. 1. Time-resolved ion composition measurements of (a) On-Off and (b) High-Low controlled plasmas.

[1] S. Huang et al., J. Vac. Sci. Technol. A **37**, 031304-1 (2019).