

O₂中の電子輸送解析 —三体付着衝突が電子移動速度に与える影響—

Electron transport analysis in O₂ -Effects of three-body attachment on electron drift velocities-

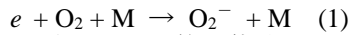
室蘭工大 岩部 由芽, 川口 悟, 高橋 一弘, 佐藤 孝紀

Muroran I.T., Yume Iwabe, Satoru Kawaguchi, Kazuhiro Takahashi and Kohki Satoh

1. はじめに

O₂ ガスはプラズマエッチングやアッシングなどに用いられ、半導体製造プロセスにおいて重要なガスの1つである^[1,2]。特にプラズマエッチングの更なる高性能化ため、プロセスプラズマ中の電子のふるまいを詳細に理解することが重要である。

O₂ ガスの電子付着過程には、三体付着および解離付着があることが知られており、三体付着は(1)式で表される^[3]。



ここで、 e は電子、 M は第3体分子であり、O₂ ガス中の三体付着では、 M はO₂となる。O₂分子への三体付着は、低エネルギー電子の衝突によって発生し、三体付着衝突周波数はガス圧力の2乗に正比例する^[3,4]。この圧力依存性のある電子付着により、本来は電界 E と気体分子数密度 N の比 E/N (換算電界)によって一意に決まる電子エネルギー分布が圧力依存性をもち、それに伴って電子輸送係数にも圧力依存性が生じると考えられるが、これまでにこれを明らかにした報告は、筆者の知る限り行われていない。

本研究の目的は、O₂ガスの三体付着が電子輸送係数に与える影響を明らかにすることである。今回は低 E/N 領域の電子移動速度に着目し、川口ら^[5]の電子衝突断面積セットを用いてMonte Carlo Simulation (MCS)を行い、三体付着が及ぼす影響について検討したので、その結果について報告する。

2. 計算方法

O₂ ガス中に一様な直流電界 $E = (0,0,-E)$ を印加したときの電子の運動を Monte Carlo 法^[6]により正確にシミュレートし、サンプリングにより電子群としての平均量を得る。ガスの圧力 p は、2 Torr および 7 Torr とし、ガスの温度は 300 K とした。

平均到着時間ドリフト速度 W_m は(2)式で定義され、位置 z に電子が到達する平均到着時間 $\bar{t}(z)$ は、サンプリングされた Arrival-Time-Spectra (ATS), $n(z,t)$ (ただし、 z は固定) から(3)式で求められる。

$$W_m = \left(\frac{d\bar{t}(z)}{dz} \right)^{-1} \quad (2), \quad \bar{t}(z) = \frac{\int_0^\infty tn(z,t)dt}{\int_0^\infty n(z,t)dz} \quad (3)$$

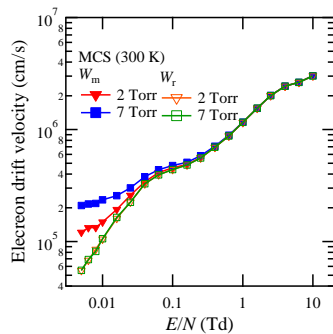


図1 W_m および W_r

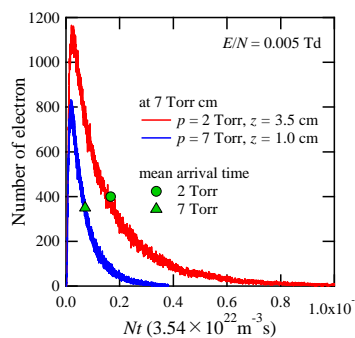


図2 ATS 波形

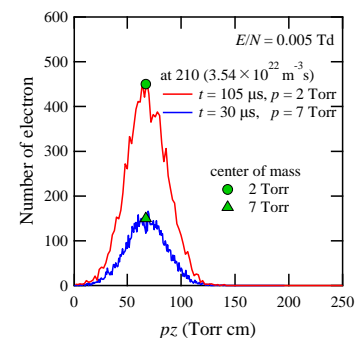


図3 電子の空間分布

また、電子群の重心の移動速度 W_r は(4)式で定義され、重心の位置 $\bar{z}(t)$ は(5)式のように、時刻 t における電子の空間分布 $n(z,t)$ (ただし、 t は固定) から求められる。

$$W_r = \frac{d\bar{z}(t)}{dt} \quad (4), \quad \bar{z}(t) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} zn(z,t)dz}{\int_{-\infty}^{\infty} n(z,t)dz} \quad (5)$$

3. 計算結果

図1は、 E/N に対する W_m および W_r の変化を示す。 W_m には圧力依存性があり、 E/N が0.1 Td以下で圧力が高くなるにしたがって値が大きくなる傾向を示している。一方、 W_r には圧力依存性がみられない。

図2は、電子のATSを示しており、単位時間あたりの衝突回数が圧力に比例するので、異なる圧力の結果を比較するために、横軸は時刻 t に気体分子数密度 N を乗じたものを用いた。ATSをサンプリングする位置についても相似則を考慮し、 $p \times z$ が等しいところとした。ATSはガウス分布ではなく、 Nt の増加に伴い一旦増加した後、緩やかに減少する形状となっている。到着時間のピークは、圧力が変化してもほぼ同じであるが、サンプリング位置に遅れて到着する電子の割合は、圧力の増加により大幅に減少している。これは圧力によって増加する三体付着の影響であり、これにより \bar{t} が小さくなり W_m の値が増加する。

図3は、電子の電界方向の空間分布を示す。横軸は相似則を考慮して pz とした。 $Nt = 210$ における電子群の空間分布は、圧力が異なることでピークの高さに違いが見られるが、重心の位置はほぼ同様である。そのため、 W_r は圧力依存性を持たないことがわかる。

参考文献

- [1] 斧ら : J. Plasma Fusion Res, **85**, No.4, 165-176 (2009)
- [2] Ye-Bin You *et al.* : Nanomaterials, **12**, 3798 (2022)
- [3] 真壁 : プラズマエレクトロニクス (1999)
- [4] Taniguchi *et al.* : J. Phys. D: Appl. Phys., **15**, 1187 (1982)
- [5] 川口ら : 第79回応物秋季講演会 予稿集 (2018)
- [6] 佐藤 : 応用物理, **89**, 253 (2020)