

パルスマイクロ波励起大気圧長尺酸素添加アルゴンプラズマ源の性能評価

Performance evaluation of pulsed-microwave atmospheric-pressure Ar/O₂ line plasma source

小笠原 知裕¹, 岩田 悠揮¹, 鈴木 陽香^{1,2}, 堤 隆嘉², 堀 勝², 豊田 浩孝^{1,2,3}

Tomohiro Ogasawara¹, Yuki Iwata¹, Haruka Suzuki^{1,2},
Takayoshi Tsutsumi^{1,2}, Masaru Hori^{1,2}, Hirotaka Toyoda^{1,2,3}

¹名古屋大学工学研究科, ²名古屋大学低温プラズマ科学研究センター, ³核融合科学研究所

¹Dept. Electronics, Nagoya Univ., ²cLPS, Nagoya Univ., ³NIFS

はじめに

近年の電子デバイス製造では、大型のフィルム基板上へのデバイス形成が求められており、真空装置を必要としない非熱平衡大気圧プラズマを大面積表面処理に応用する技術が注目を集めている。大気圧プラズマ生成手法の一つであるマイクロ波放電は、高密度なプラズマを生成できる一方、定在波の発生によりプラズマが空間的に不均一になりやすいという課題があった。そこで我々は導波管内の電磁波伝搬方向を一方に制御することで導波管壁に設けたメートル級長尺スロット内に大気圧プラズマを生成する手法を開発し、導波管内に空間均一な電磁界分布を形成することに成功した⁽¹⁾。さらに、分子ガスを用いた長尺プラズマの生成にも成功し⁽²⁾、Ar/O₂プラズマによるポリイミドフィルム的高速アッシング処理(20 μm/min)にも成功している⁽³⁾。本研究では、このアッシング処理に加え、真空紫外原子吸収分光法(VUVAS)を用いて酸素原子密度を測定することで、大気圧長尺プラズマ源の性能評価を行った。

実験方法

実験ではループ型の導波管で生成される大気圧マイクロ波プラズマを用いており、ループ内に電力を蓄えることによりプラズマ生成に電力を効率的に使用できる⁽¹⁾。導波管には長さ 30 cm、ギャップ幅 0.12 mm の長尺スロットが設けられている。スロット導波管の両端は 2 枚の気密窓でガス封止されており、導波管内に導入された Ar/O₂(28 slm/0.84 slm)ガスはスロットを通過し、外部に放出される。マイクロ波のパルス電力(ピーク電力: 3.5 kW、パルス周波数: 15 kHz、Duty 比 30%)を印加することによってスロット内部にプラズマが生成される。酸素原子は Fig.1 に示す VUVAS によって測定する。マイクロホローカソード光源から放出される酸素原子光(130.2 nm)はスロットからのガス流れ中の酸素原子によって吸収され、VUV 分光器で検出される。光源と検出器の両方に MgF₂ の窓があり、真空封止されている。2 つの MgF₂ 窓間の距離、すなわち吸収長は 2.5 mm としている。ガス流れに沿った酸素原子の空間分布を測定するため、VUVAS 装置はすべてガス流れに沿った方向に移動できる。

実験結果

Fig.2はガス流れの方向に沿った酸素原子密度の空間分布を示している。横軸原点はスロットの位置を表している。スロットから 6.5 mm 離れた位置で高い酸素原子密度($3 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$)が得られ、スロットからの距離増加に伴い密度が単調に減少していることがわかる。この密度減少は酸素原子の拡散と、酸素分子との反応による気相損失によるものと考えられる。この酸素原子密度から推定される酸素原子フラックスは、高いアッシングレート(20 μm/min)を説明するのに十分な値である。

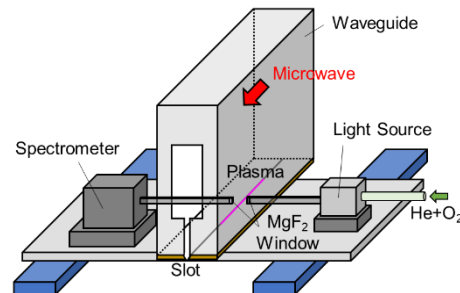


Fig. 1. Experimental setup for VUVAS measurement.

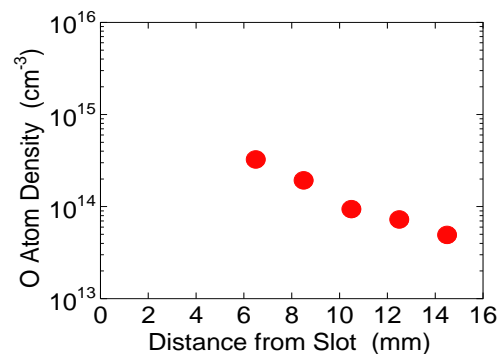


Fig. 2. Spatial profile of O atom density along gas flow direction.

参考文献

- (1) H. Suzuki, et al., Appl. Phys. Express **8** (2015) 036001.
- (2) H. Suzuki, et al., Jpn. J. Appl. Phys. **59** (2020) 016002.
- (3) T. Ogasawara, et al., AAPS-DPP2021, A-P10, (2021).