

## 【助成 39-17】

### 大面積フィルム処理のための大気圧長尺マイクロ波プラズマにおける 酸素ラジカル空間分布計測

研究者 名古屋大学 大学院工学研究科 講師 鈴木 陽香

#### 〔研究の概要〕

近年の電子デバイス製造においては、フィルム上へのデバイス形成など新しい展開が始まっており、これらに伴い革新的なプロセス技術が要求されている。高価な真空容器が不要な大気圧プラズマ装置は次世代のフィルムプロセス装置として期待されるが、従来技術では処理速度や処理面積に限界があり、実用化に向けてプラズマ生成・応用技術のさらなる向上が求められている。本研究では、申請者が開発を行ってきた長尺の大気圧マイクロ波プラズマ装置に関して、酸素ラジカル供給による樹脂フィルム表面のエッチングプロセスにおいて、処理に寄与する活性種の評価と、活性種量とプロセスとの関連を明らかにすることを目的として、吸収分光による酸素原子密度評価と XPS による表面分析を組み合わせ、大気圧プラズマ照射による樹脂のエッチングレートの妥当性の検討を行った。

#### 〔研究経過および成果〕

図 1 に本研究で製作した実験装置図を示す。Ar/O<sub>2</sub> 混合ガスを導波管に導入し、スロット(ギャップ幅:0.1 mm)から排出する。プラズマは、2.45 GHz パルスマイクロ波電力(ピーク電力:3.5 kW、パルス周波数:15 kHz、デューティ比:30%)を印加することにより、スロットギャップ内に生成される。ガス純度を向上させるため、スロット付き導波管の両端に気密窓を設置した。マイクロホローカソードランプ(MHCL)からの原子状酸素の発光は、スロット内プラズマから放出されたガス中の原子状酸素に一部吸収され、真空紫外(VUV)分光器で検出される。MHCL と VUV 分光器は共にドライポンプで排気される。光路の真空シールには MgF<sub>2</sub> 窓を使用し、吸収長は 2 つの窓の間隔(2.5 mm)で定義される。これらの分光計測系はプラズマ発生用のスロットに対して平行・垂直に走査可能である。

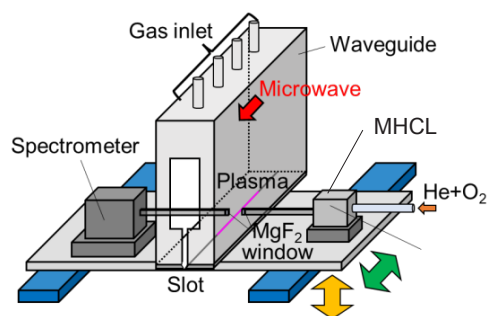


図 1. 実験装置図。

Ar ガスに対しての酸素添加率が 0.07%において、スロットから 5 mm 離れた位置における酸素原子密度の長手方向分布は 60 cm の範囲においてほぼ均一であり、密度は  $3 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$  程度であった。また、入射電力の増加に伴い、原子密度は単調に増加した。

酸素添加率を 3%として、ガスの流れ方向に沿った空間分布を測定したところ、スロットからの距離が長くなるにつれて酸素原子密度は指数関数的に単調減少することがわかった。この結果を外挿すると、スロットの位置での酸素原子密度は約  $10^{15} \text{ cm}^{-3}$  と推定され

た。また、酸素原子の減少は、ガス吹き出による拡散とガス粒子との衝突による失活であると考えられる。酸素原子密度の測定結果と、過去に実施された樹脂エッチング実験との結果を比較すると、処理対象物の位置における酸素原子フラックスは  $2 \times 10^{18} / \text{cm}^2/\text{s}$  と計算されたのに対し、フィルムからの炭素原子の除去速度は  $4 \times 10^{17} / \text{cm}^2/\text{s}$  であった。酸素原子のフラックスは炭素原子の除去速度を上回っており、酸素原子は重要な要因の一つと考えられる。

表面処理中の試料への熱の影響を調べるため、温度チョークを用いて試料温度を簡易的に測定した。掃引処理(ステージ走査速度 3m/min)において、処理前 20°Cであった試料温度は、プラズマ処理により 40~50°Cに増加することが確認された。従って、本装置を用いた場合、処理に対する熱の影響は小さく、また、樹脂フィルム試料への熱ダメージはほとんどないと考えられる。

次に、プラズマ装置下部に設けた搬送ステージ(速度 3 m/min、スロットからの距離 0.5 mm) にポリイミドフィルムを設置し、サンプルに複数回のプラズマ照射処理を行い、処理前後のサンプル表面を X 線電子分光法(XPS)により解析した。図 2 (a)プラズマ処理前と(b)プラズマ処理後(プラズマ照射時間 8 s)のサンプルの C1s スペクトルを示す。プラズマ処理後に C-O、C=O 結合が減少している。ポリイミドの構造式から、C-O 結合は鎖状構造を構成しており、プラズマ処理を行うことで鎖状構造が破壊されることを示している。また、C1s に対する O1s の割合はプラズマ処理前が 0.16、プラズマ処理後が 0.10 であった。これらの結果は、酸素添加アルゴンプラズマの照射によってポリイミド表面のポリマー構造が大きく変化していることを示している。

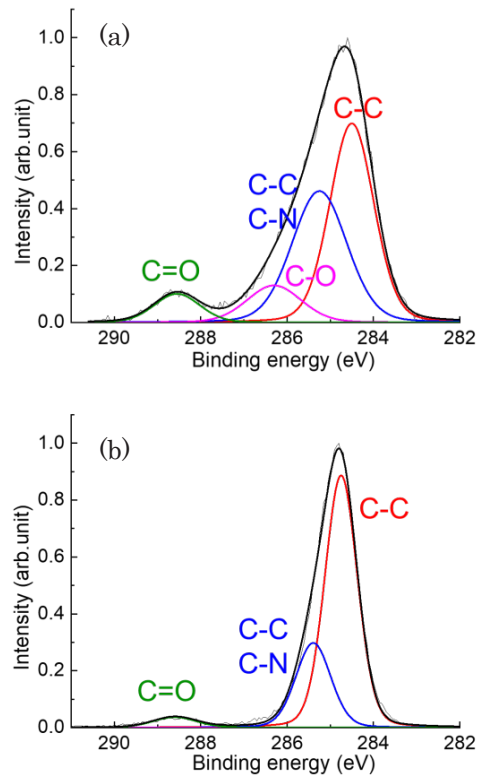


図 2. C1s スペクトル  
(a)処理前、(b)処理後。

結論として、酸素ガスを添加した大気圧マイクロ波プラズマを用いた樹脂表面処理プロセスにおいては、酸素原子が重要な役割を果たしていると考えられる。また、本研究では温度による反応の促進の影響は示されなかったが、基板表面において局所的に生じる加熱の影響も考えられるため、熱量の評価が必要である。XPS 分析により、プラズマ照射によって樹脂表面のポリマー構造が破壊され、処理が進行していることが示唆された。

[発表論文]

1. 岩田 悠揮、小笠原 知裕、鈴木 陽香、豊田 浩孝、第 69 回応用物理学会春季学術講演会 (2022).