大気圧マイクロ波プラズマの大面積かつ高速表面処理への応用

Application of atmospheric pressure microwave plasma to large area and high-speed surface treatment

鈴木 陽香^{1,2}, 小笠原知裕¹, Chu Manh Hung¹, 岩田 悠揮¹, 豊田 浩孝^{1,2,3} Haruka Suzuki^{1,2}, Tomohiro Ogasawara¹, Manh Hung Chu¹, Yuki Iwata¹, and 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 ¹Department of Electronics, Nagoya Univ., ²cLPS, Nagoya Univ., ³NIFS

1. はじめに

近年の電子デバイス需要の高まりとともに、 非熱平衡大気圧プラズマを用いた低コストで 高速の洗浄、表面改質、成膜等の表面処理が注 目されている。このような背景により、空間的 に均一で、高密度かつ大規模で、放電ガス種を 選ばない大気圧プラズマ装置が求められてい る。大気圧下で生成されるマイクロ波放電は比 較的容易に高密度のプラズマを生成できるこ とから、上述のプラズマ源としての利用が期待 できる。一方で、大気圧マイクロ波プラズマは 装置構造によってはマイクロ波の波長(1~0.01 m) に依存した定在波が発生しやすく、電磁界 分布が空間的に不均一になり、均一なプラズマ を生成することが困難になる。特に、大気圧の ような高圧力下では衝突が高頻度で生じるた め、プラズマが拡散しづらく、不均一な電磁界 の分布を反映しやすい。この問題を解決するた めに我々は、マイクロ波の伝搬方向を制御する ことにより、定在波の発生を抑制し、進行波の みにより均一なプラズマを生成する長尺スロ ット型マイクロ波プラズマ装置(大気圧マイク ロ波ラインプラズマ)を開発した [1-4]。これ までに、この装置を用いて、波長の長さ(0.12m) を優に超える 1 m長の希ガス放電プラズマの 生成に成功した。また、矩形導波管の断面構造 を非対称構造とすることにより、スロット部で の電磁界強度を増加させ、希ガスよりも放電が 困難である窒素分子ガスを用いてメートル長 のプラズマ生成に成功するとともに、プラズマ の空間均一性についても確認している。

今回の報告では、本プラズマ装置を用いた大面積表面処理の実証を目的として、PETフィルムやポリイミドフィルム等の樹脂フィルムに酸素添加アルゴンプラズマを照射した際の、表面親水化やアッシング、及びその空間分布の調査について述べる。

2. 実験装置

図1に実験装置の概略図を示す。アルゴン(28 slm) と酸素 (アルゴン流量に対して0~3%) の 混合ガスを、スロットを配した導波管(スロッ ト長:30~60 cm, スロット幅:0.1 mm) に、導波 管壁に設けたガスマニホールドから導入する。 導波管の両端は気密窓導波管によりガス封止 されている。スロット部の導波管の断面構造は 上述のように、非対称構造としている。また、 定在波抑制のため、規格導波管と非対称断面導 波管は電磁界シミュレーションに基づいて設 計された整合器導波管を介して接続し、導波管 内電力伝搬は一方向に制御されている。ここに、 パルスマイクロ波電力(2.45 GHz, ピーク電力: <4.2 kW, パルス周波数: 50 kHz, デューティー 比: 10%)を入射することによりスロットにライ ン状のプラズマが生成される。処理対象物とし てフィルムサンプルを導波管長手方向に5 cm 間隔で5枚、全長20 cmに渡って可動式ステージ (幅1 m, 長さ0.5 m, 掃引幅: 0.8 m, 掃引速度: < 10m/min) 上に並べ、ステージを掃引してプ ラズマに照射した。サンプルとスロットの距離、 及び掃引速度は実験ごとに制御されている。 例として、スロット長を60 cmとしたときのア ルゴンプラズマの発光をFig.2に示す。

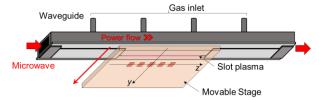


Fig.1. Experimental apparatus.



Fig.2. Atmospheric pressure microwave line plasma.

3. 実験結果

ポリイミドフィルムをステージに載せ、1回 掃引してプラズマを照射した後のフィルム表 面の水接触角の空間分布をFig.3に示す。酸素添 加量は2.5%、パルスマイクロ波のピーク電力を 4.2 kW、掃引速度9 m/min、スロットとフィルム サンプル間の距離を0.5 mmとした。未処理のフ ィルムの接触角は70°であり、プラズマ照射後 に水接触角が低下した。また、20 cmの範囲で 均一な親水性が得られていることがわかる。次 に、掃引速度を変化させてフィルムをプラズマ に照射させた。別の実験により、プラズマの照 射幅を測定したところ、約0.8 mmであったため、 この値を用いて処理時間に対する依存性を評 価した。その結果をFig.4に示す。接触角は処理 時間の増加とともに減少し、50 ms程度で飽和 角14°に達し、非常に高速で処理が完了してい ることが明らかになった。また、1回掃引処理 ではフィルムへの熱ダメージや変形などは確 認できなかった。

次に、ポリイミドフィルムを同様に広幅20 cmに渡って並べ、複数回掃引し、酸素添加プラ ズマ処理を実施することにより、樹脂を分解す るアッシング処理を行った。酸素添加量は2.5%、 パルスマイクロ波のピーク電力を4.2 kW、ステ ージ掃引速度1 m/minとし、処理時間が24 sとな るよう複数回掃引処理を行い、処理後のフィル ム表面の削れ深さを段差膜厚計にて測定した。 処理時間から換算したアッシングレートの長 手方向分布をFig.5に示す。縦軸はアッシングレ ートで、長手方向各部において0.7 μm/min程度 となっており、長手方向に均一であることが確 認された。高速の親水化やアッシング処理は酸 素ラジカルの寄与が大きいと考えられ、本装置 は高密度の酸素ラジカルを広幅に供給してい ると考えられる。

4. まとめ

大気圧マイクロ波ラインプラズマ装置を用いた大面積表面処理の実証を目的として、例として酸素添加アルゴンプラズマにより樹脂フィルムの高速親水化処理、及びアッシング処理を実施し、処理の均一性が確認されたことから、本研究のプラズマ装置の広幅フィルムプロセスへの応用が期待できる。

筘犥

本研究はJSPS科研費JP16H03893, JP18K13531 の助成を受けたものです。

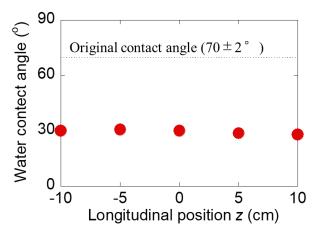


Fig.3. Spatial profile of water contact angle.

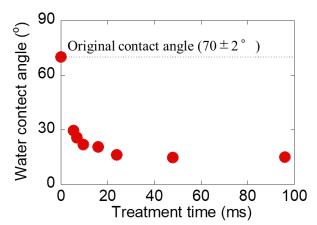


Fig.4. Treatment time dependence of water contact angle.

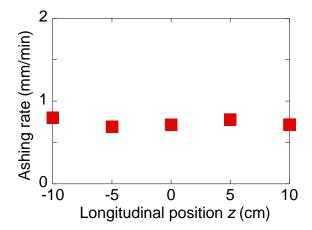


Fig.5. Spatial profile of ashing rate.

参考文献

- [1] H. Suzuki et al.: *Appl. Phys. Express*, **8**, 036001, 2015.
- [2] H. Suzuki et al.: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **55**, 01AH09, 2016.
- [3] H. Suzuki et al.: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **56**, 116001, 2017.
- [4] H. Suzuki et al.: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **59**, 016002, 2020.