

成膜用磁化同軸プラズマガンへの予備電離技術の適用とその評価

Application of pre-ionization technique onto a magnetized coaxial plasma gun for thin-film formation

○山田翔大², 横山和夫¹, 小林大地², 浅井朋彦³*Shodai Yamada², Kazuo Yokoyama¹, Daichi Kobayashi², Tomohiko Asai³

Abstract: Physical-Vapor-Deposition (PVD) technique by electromagnetically accelerated ions using magnetized coaxial plasma gun (MCPG) has been developed for formation of carbon-based thin film such as Diamond-Like-Carbon (DLC). In a generation of DLC thin-film by PVD technique, hardness of DLC thin-film depends on injection energy of ions. In this MCPG-PVD method, it has been desired that the plasma velocity increases with decreasing initial inlet gas amount for DLC generation of high hardness. However, the lower limit of breakdown voltage in the MCPG depends on gas pressure and the distance between inner and outer electrodes according to the Paschen's law. Then, pre-ionization (PI) technique has been adopted to assist breakdown and to generate uniform glow like discharge by supplying seed electrons. In this work, dependence of gas pressure on plasmoid velocity has been researched and effects of PI with dielectric-barrier-discharge (DBD) on the generated plasmoid has been evaluated, experimentally.

1. はじめに

磁化同軸プラズマガン (Magnetized Coaxial Plasma Gun : MCPG) 型のイオン加速器を用いて、イオンの電磁加速による PVD 法を開発し、ダイヤモンドライクカーボン (Diamond-Like-Carbon : DLC) などの炭素系薄膜への応用を目指した研究を進めている。

PVD 法による DLC 薄膜の作製において、薄膜となるイオンの入射エネルギーは、DLC 薄膜の硬度に依存する傾向がある[1]。本成膜法を用いた高硬度の DLC 生成のためには、初期導入ガス圧を下げることでプラズモイドの射出速度を上げることが望ましいが、MCPG における絶縁破壊条件は、およそパッシェンの法則に従い、電極間距離とガス圧の積に依存する。これが十分に満たされていない場合、放電開始時間の遅延や、アーク放電への遷移など放電状態が不安定になる。このため、絶縁破壊が起こりやすい条件を作るために、予備電離を適用し電極間に種電子を供給する。

本研究では、MCPG におけるプラズモイドの射出速度に対するガス圧依存性を調べるとともに、誘電体バリア放電を用いた予備電離法をガス導入部に適用してプラズマ生成・射出実験を行い、放電波形およびプラズマ速度の計測結果から本予備電離法の効果を評価する。

2. 装置概要およびプラズマの加速原理

同軸上に設置された 2 つの円筒電極・絶縁部・加速部から構成されたプラズマの加速器を磁化同軸プラズマガンと呼ぶ。円筒電極間での放電電流とそれにより発生する円周方向磁場の間にはたらくローレンツ力でイオンを電磁加速し、またバイアス磁場による電磁誘導でトロイダル電流を駆動することで、軸方向にプラズモイドとして射出する[2]。

3. 誘電体バリア放電を用いた予備電離法

本研究では、ガスチューブに円環状の電極を取り付けて電圧を印加することで、ガス導入経路内に生じたバリア放電により導入ガスを励起または電離する予備電離法を採用した (Figure 1)。誘電体バリア放電は一對の金属電極間に誘電体を挿入することで誘電体を介して生じる放電のことをいい、今回はガス導入のためのテフロンチューブを誘電体バリアとして交流電場がガス導入経路に印加される[3]。

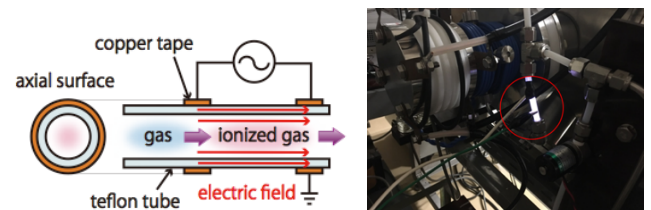


Figure 1. Ionized gas generation by DBD and a photo of DBD-PI while gas puff.

4. 実験概要

本成膜法におけるプラズモイドの射出速度に対するガス圧依存性を調べるため、Figure 2 の実験装置を用いて、充電電圧 2[kV]、ガス導入から放電開始までの遅延時間を 30[ms]に固定し、導入ガス圧を 0.025, 0.05, 0.09, 0.12 [MPa]として各 5 回ずつ放電実験を行なった。

また、予備電離を適用した実験では、充電電圧 2[kV]、導入ガス圧 0.06[MPa]、ガス導入から放電開始までの遅延時間を 50[ms]に固定し、予備電離を適用した場合とそうでない場合について各 5 回ずつ放電実験を行った。予備電離はインバーターを用いて電極間に AC10[kV]を印加し、Figure 3 のような電極配置で定常的に行なった。

計測系に関しては、ロゴスキーコイルを用いて MCPG の放電電流および放電電圧を計測し、ドリフト管に設置した 2 つの PMT を用いて、Time-of-flight 法によりプラズモイドの射出速度を算出した。

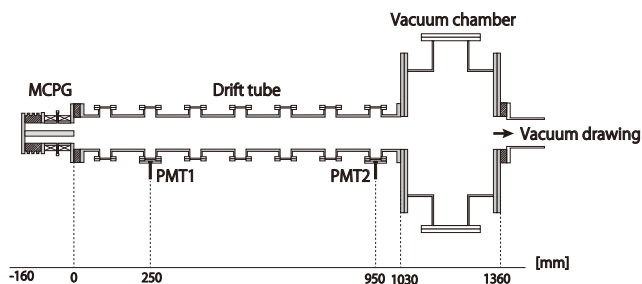


Figure 2. Schematic diagram of experimental setup.

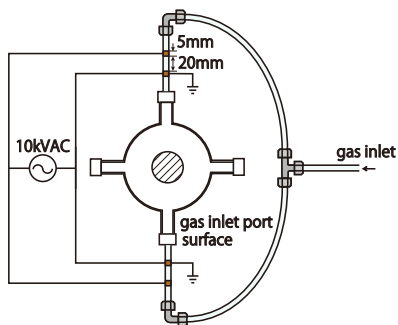


Figure 3. Schematic diagram of DBD-PI position with MCPG.

5. 実験結果

プラズモイドの射出速度に対するガス圧依存性のグラフを Figure 4 に示し、予備電離の有無による射出速度および放電開始時間の遅れを Figure 5 および Figure 6 に示す。エラーバーは 5 回の放電における各データの最大値および最小値の幅とした。

Figure 4 より、導入ガス圧を下げることで、射出速度が上昇する傾向にあることが分かる。予備電離においては、Figure 5 より、速度に差はないものの予備電

離なしの場合と比べて、プラズマ速度のばらつきが小さくなったことが分かる。また、Figure 6 より、放電開始時間の遅れは約 2[μs]短くなった。これらの結果から、予備電離により絶縁破壊が生じやすく、プラズマ生成の再現性が向上したものと考えられる。

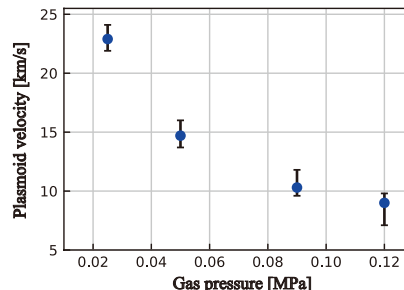


Figure 4. Dependence of plasmoid velocity on gas pressure.

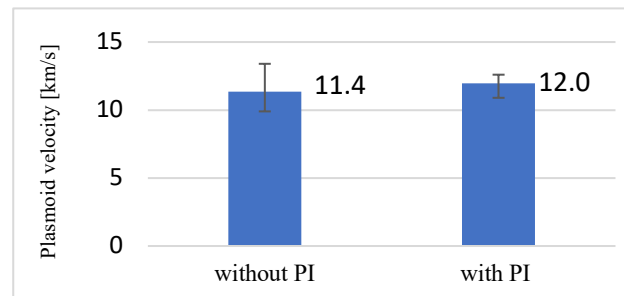


Figure 5. Dependency of ejection velocity on the DBD-PI.

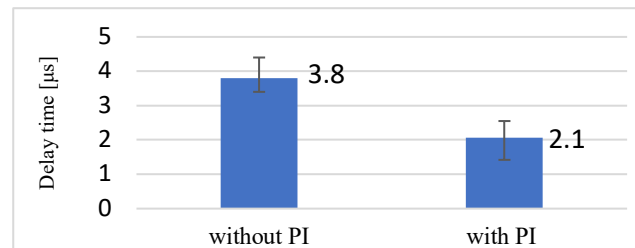


Figure 6. Dependency of discharge delay time on the DBD-PI.

7. まとめと今後の実験計画

現状では、今回の条件での結果しか得られていないため、今回よりも導入ガス圧を下げて放電し、本予備電離法に対するガス圧依存性を調べる予定である。

8. 参考文献

[1] K.Yamamoto et al. : “The sp³ bond fraction in carbon films prepared by mass-separated ion beam deposition”, *Diamond and Related Materials*, Vol.10, No.3-7, pp895-899(2001) .
 [2]浅井朋彦他:「同軸磁化プラズマ生成装置と同軸磁化プラズマ生成装置を用いた膜形成装置」, 特許第 4769014 号, (2011) .
 [3] M. Teschke et al., *IEEE. trans. Plasma Sci.* 33, 310 (2005) .