

## 磁化同軸イオン加速法による小型汎用 DLC 成膜装置の開発

## Development of a compact general-purpose DLC film deposition device by the magnetized coaxial ion acceleration method

○横山和夫<sup>1</sup>, 丸山祐<sup>2</sup>, 小林大地<sup>3</sup>, 浅井朋彦<sup>4</sup>, 高津幹夫<sup>5</sup>, 平塚傑工<sup>5</sup>\*Kazuo Yokoyama<sup>1</sup>, Yu Maruyama<sup>2</sup>, Daichi Kobayashi<sup>3</sup>, Tomohiko Asai<sup>4</sup>, Mikio Takatsu<sup>5</sup>, Masanori Hiratsuka<sup>5</sup>

Abstract: A physical vapor deposition method using a magnetized coaxial ion accelerator (MCIA) has been developed for the diamond-like carbon (DLC) formation. In this method, in order to generate a thin film with few droplets, to limit the discharge pulse length was attempted for suppressing thermal wear of the electrode made of deposition material. In this study, a film formation device using an IGBT inverter was newly developed to control the current waveform, and a carbon-based thin film was formed by controlling the discharge frequency and duty ratio.

## 1. 背景・目的

ダイヤモンドライクカーボン (Diamond-Like Carbon : DLC) は、炭素イオンの基板への入射エネルギーによって決まる組成比と水素の含有量によって性質が変化する炭素の薄膜である。DLCを基板表面に成膜することで、高硬度、低摩擦係数、生体親和性などの特性を付与できるため、機械部品の保護膜や医療機器の生体適合膜として産業応用の需要が高まっている<sup>[1]</sup>。DLCの生成方法は2つに大別される。1つは前駆体の原料に固体を使う物理気相蒸着法 (Physical Vapor Deposition : PVD)、もう1つは原料に炭化水素系のガスを使う化学気相蒸着法 (Chemical Vapor Deposition : CVD) である<sup>[2]</sup>。前者には生産性の低さやドロップレットの問題があり、後者では炭化水素系のガスを使用するため、水素フリーのDLCを生成できない。

水素フリーのDLCを生成できるPVD法の長所を活かし、低ドロップレットのDLC生成するために、磁化同軸イオン加速器 (Magnetized coaxial ion accelerator : MCIA) を用いた成膜方法を開発した<sup>[3]</sup>。Figure 1にMCIAを用いた成膜過程の概念図を示す。MCIAによる成膜法では、成膜原料となる内部電極をプラズマによって気化・イオン化させ、プラズマを流れる電流とそれが作る磁場の間にはたらく自己ローレンツ力で、軸方向へ成膜原料イオンを含むプラズマを輸送、軸上に設置された基板へ膜を堆積させる。したがって、電磁力によって原料イオンが輸送され、帯電していないドロップレットは加速を受けない。また、基板とプラズマ生成部が切り離されているため、低熱負荷で成膜を行うことができ、動作ガスにアルゴンなどの希ガスを使用することで、水素フリーのDLCを生成することができる。

本研究では、MCIAを用いた成膜法で低ドロップレットの薄膜を生成するために、放電パルス長を制御し、内部電極の熱的な損耗を抑えることを試みた。そのためにスイッチングにより、電流を遮断することが可能な半導体スイッチング素子であるIGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) を用い、放電電流のパルス幅や繰り返し周波数を制御可能な成膜装置を新たに開発し、炭素系薄膜の生成を行った。

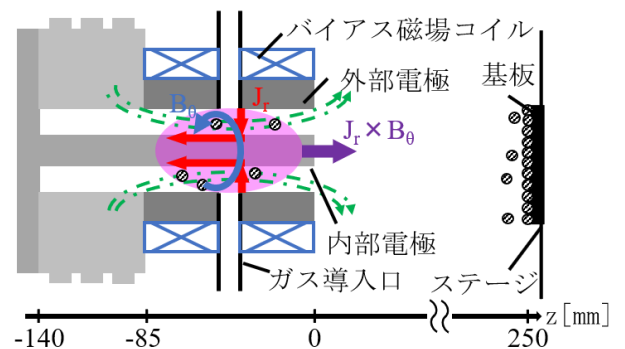


Figure 1. Schematic diagram of MCIA deposition method.

## 2. 実験装置

本研究で使用するMCIAの内部電極はグラファイト製で、外径6mm、長さ140mmであり、外部電極はステンレス鋼 (SUS304) 製で、内径14mm、長さ85mm、である。ガス導入は、外部電極の中心部にあるポートから電磁弁 (CKD Corp, HVB112) を用いて、アルゴンガスをパルスの導入しており、ガス導入後、IGBTのターンオン時間だけ電極間に電圧が印加され、プラズマが生成される。

Figure 2に放電回路の概略図を示す。IGBTのターン

1 : 日大理工・院 (前)・物理 2 : 日大理工・学部・物理 3 : 日大理工・院 (後)・物理 4 : 日大理工・教員・物理  
5 : ナノテック

オフ時に発生するサージ電圧から IGBT を保護するために、充電型スナバ回路を IGBT と並列に接続している。スナバ回路は幅広い周波数成分のサージ電圧に対応するために、異なる容量の複数のコンデンサ（合成容量は  $7\mu\text{F}$ ）を組み合わせている。また、放電電流を IGBT の定格内に抑えるために、MCIA と直列に電流制限抵抗を接続した。

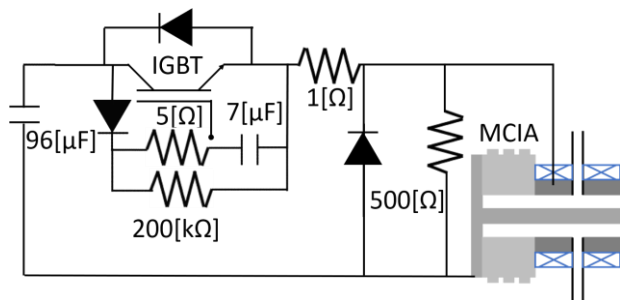


Figure 2. Schematic diagram of discharge circuit.

3. 実験結果

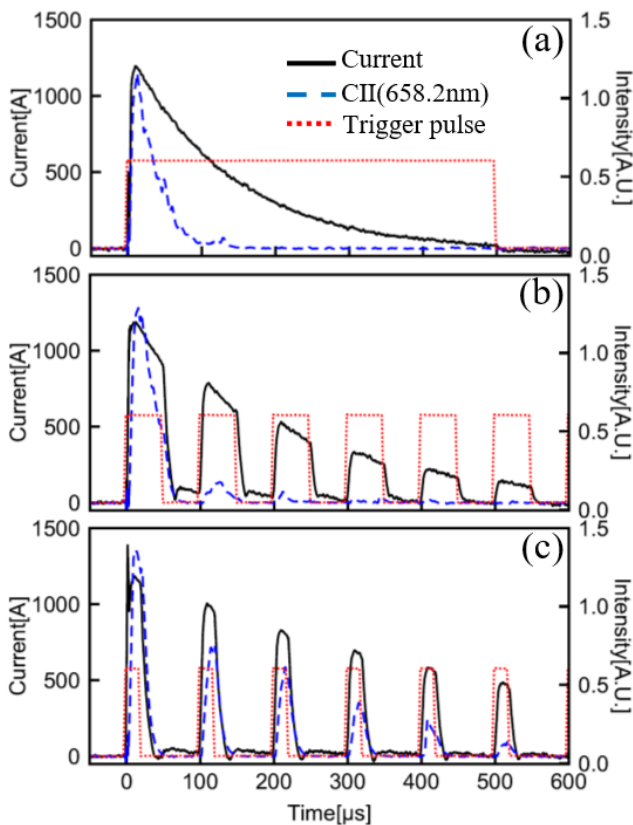


Figure 3. Typical discharge current and ion (C II) line spectra of (a) single discharge, (b) duty ratio 50% and (c) duty ratio 20% at 10kHz of repetitive frequency.

IGBT で電流波形を制御し、基板の中央部がマスクングされたシリコン基板に対して成膜実験を行った。Figure 3 に成膜実験時の典型的な放電電流波形、炭素イ

オンの発光、IGBT のターンオン時間、Table 1 に薄膜の生成条件を示す。炭素イオンの発光は、基板を設置せず、成膜時と同じ条件で MCIA の軸方向から測定した。

Table 1. Conditions for carbon thin film generation.

	繰り返し周波数	放電パルス長	充電回数
a		500μs	6000
b	10kHz	50μs	3000
c	10kHz	20μs	3000

Figure 4 は生成した薄膜の写真である。Figure 3 に示した通り、炭素イオンが加速・入射されていることから、立ち上げた成膜装置で電流波形を制御して、炭素系薄膜を生成されたものと考えられる。また、(b) の膜厚を触診段差法により測定したところ、その膜厚は約 50nm であった。

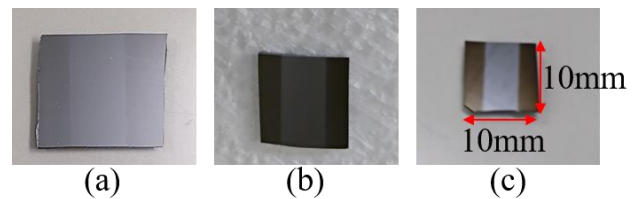


Figure 4. Deposited carbon thin film in the cases of (a) single discharge, (b) duty ratio 50% and (c) duty ratio 20% at 10kHz of repetitive frequency.

4. まとめ

低ドロップレットの DLC を生成するために、MCIA の電流波形を制御可能な成膜装置を新たに開発し、成膜実験を行った。Figure 4 に示した通り、繰り返し周波数や放電パルス長を変え、炭素系薄膜を生成することができた。また、(b) の膜厚を測定したところ、約 50nm であった。

5. 参考文献

[1] 中谷達行：「様々なプラズマプロセスによるダイヤモンドドライクカーボン薄膜の作成とその評価」, J.Plasma Fusion Res., Vol92, No.6, 450-453, 2016  
 [2] 上坂裕之：「DLC 成膜プロセス研究の最前線」, J.Plasma Fusion Res., Vol90, No.1, 76-83, 2014  
 [3] 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)