

磁化同軸イオン加速法による DLC 成膜装置の改良における薄膜状態の変化

Change of thin film state in the improvement of DLC film deposition device using by magnetized coaxial ion acceleration method

○丸山祐¹, 梶田大貴², 関太一³, 高津幹夫⁴, 平塚傑工⁴, 小林大地⁵, 浅井朋彦⁵
 *Yu Maruyama¹, Daiki Kajita², Taichi Seki³, Mikio Takatsu⁴, Masanori Hiratsuka⁴, Daichi Kobayashi⁵, Tomohiko Asai⁵

Abstract: A physical vapor deposition (PVD) method using a magnetized coaxial ion accelerator (MCIA) is a technique in which deposition material ions are accelerated by electromagnetic force and inject onto a substrate. This method can reduce macro-particles called droplets, which have been a drawback of the PVD method. The conventional problems of dominant thermal diffusion during film deposition and localized wear of the internal electrode due to non-uniform gas introduction have been improved. As a result, it can be expected to improve film deposition efficiency and reduce droplets.

1. 背景・目的

ダイヤモンドライクカーボン (Diamond-Like Carbon: DLC) とは、炭素のアモルファス構造を主骨格とする薄膜のうち比較的高硬度なものの総称である。DLC の性質は主に基板への炭素イオンの入射エネルギーと水素の含有量、 Sp^2 - Sp^3 結合の組成比に依存し変化する。現在、産業分野では低摩擦性、耐摩耗性を活用した自動車の摺動部品や風力発電のベアリング部品、非球面ガラスレンズ成型用金型、医療分野では生体親和性を利用した人工関節やカテーテルなどに応用されている^[1]。DLC の成膜方法は主に物理的に膜を堆積させる物理気相蒸着 (Physical Vapor Deposition: PVD) 法と原料に炭化水素ガスを使用する化学気相蒸着 (Chemical Vapor Deposition: CVD) 法に大別される^[2]。PVD 法では、成膜された DLC を水素フリーにできるため、高硬度の DLC を生成することが可能であることやプラズマ生成部と基板が離れているため、成膜時の熱負荷の低減できるなどのメリットがある。一方で、主たるデメリットとして、生成効率の悪さや剥離の原因ともなるマクロ粒子が膜に混入することがあげられる。CVD 法は複雑形状に成膜が可能であるというメリットがあるが、原料に水素を含むガスを用いていることから必然的に水素を含む DLC が成膜されるというデメリットがある。

本研究では独自に開発した磁化同軸イオン加速器 (Magnetized Coaxial Ion Accelerator: MCIA) による成膜法^[3]を用いており、本成膜法は原料イオンを電磁加速し基板に射出することで、PVD 法のデメリットでもあったドロップレットと呼ばれるマクロ粒子を低減させることが可能な成膜方法である^[4]。その成膜の概念図を Figure 1 に示す。内部電極に成膜原料の炭素からな

るグラファイト棒を用いており、電極間へアルゴンガスを導入し電源からパルス電圧を電極間に印加する。絶縁破壊が起こりプラズマが生成されると、プラズマを介して流れる放電電流によりイオン化された炭素が電流と磁場のローレンツ力により電磁加速され基板に入射し薄膜を形成する。

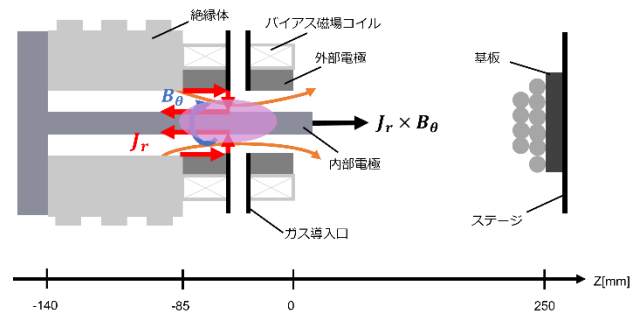


Figure 1. Schematic diagram of MCIA deposition

本研究では、従来の装置における問題点であった、成膜時による熱拡散が支配的であること、片側のみのガス導入による内部電極の損耗部位の偏りを改善するため、ガス導入経路と電流供給位置の変更を行い、DLC 薄膜の生成実験とその膜評価を行った。

2. 装置の改良

放電の直前に電極間へガスを噴射するために、タイマーICによるパルス発生回路と電磁弁で構成されるガス導入系を用いている。従来はこのガス導入系を Figure 1 における下側の導入口のみを使用していた。約 13000 回の充放電を行った後の内部電極を Figure 2 に示す。ガスが噴射される部分の損耗が激しいことが分かる。内部電極の損耗を均一化し、安定した放電を行

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 : ナノテック
 5 : 日大理工・教員・物理

うため、内部電極に対して両側からガス供給が行われるようにガス導入系を新たに作製した。



Figure 2. Worn internal electrode

さらに、従来の電流供給位置ではプラズマ電流と自己磁場による電磁加速の効率が悪く、基板へ原料イオンの輸送において熱拡散が支配的であった可能性が考えられる。そのため、電流供給位置を Figure 3 に示す位置に変更し Figure 1 の概念図のような電流経路を形成、生成される B_θ を増加させることで電磁加速の効率化を図った。

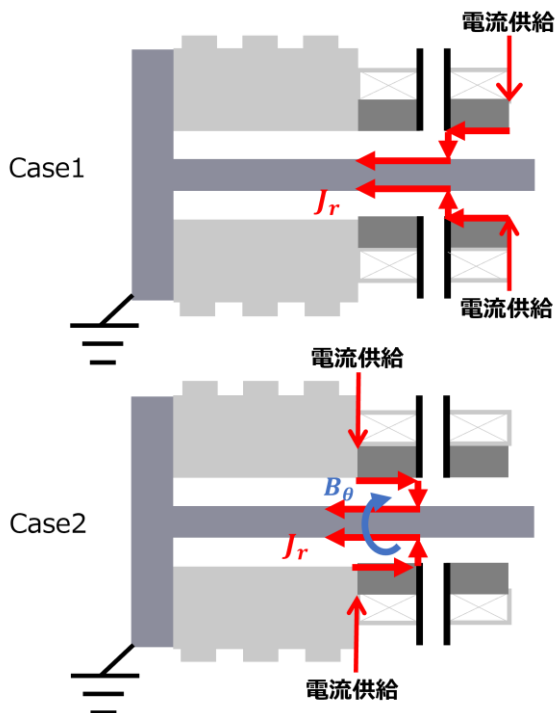


Figure 3. Modification of the current application position

3. まとめ

PVD 法は水素フリーの DLC 薄膜を生成することができるという観点から、現在では産業分野において広く用いられている。しかし、PVD 法は発生したドロップレットが膜へ混入することが主たるデメリットである。それらのデメリットを解決することができる手法として磁化同軸イオン加速法による成膜装置が開発された。本手法はイオン化した成膜材料を電磁加速で基板へ輸送し薄膜を形成することから、イオン化され

ていないドロップレットは加速を受けず、膜への混入を低減することが可能な成膜手法である^[4]。

本研究室では、前述の手法を用いて薄膜生成実験とその膜評価を行っている。しかし、生成される炭素膜のさらなる性質向上には、放電電流により内部電極が加熱され熱的な損耗をすることで大量のドロップレットが発生し、熱的な拡散により生成された炭素膜に混入することが問題となっている^[5]。そこで、本研究ではガス導入経路を増やすことで、内部電極の損耗の均一化し、さらに外部電極に対する電流供給位置を変更することで従来の熱拡散が支配的である可能性があった輸送過程から、電磁加速による原料イオンの輸送が支配的な状態に変化させることを試みた。

これらの装置の変更を行った上で、成膜された膜の評価を行い、従来の装置で作製した膜との比較を行う。

4. 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ライクカーボン薄膜の作製とその評価」, J. Plasma Fusion Res., Vol92, No.6, pp.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, pp.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.
- [4] D.Kobayashi et al., : "Physical vapor deposition using a coaxial ion acceleration method", Rev. Sci. Instrum., 91, 09509, 2020.
- [5] 横山和夫：「磁化同軸イオン加速法を用いた小型汎用 DLC 成膜装置の開発」, 日本大学大学院理工学研究科修士論文, 2020.