O-18

非熱平衡大気圧プラズマによる DLC 除膜に関する研究

Removal of diamond-like carbon film by non-equilibrium atmospheric pressure plasma

秋元郁哉[1]，岡田真実[1]，田中郁行[1]，菱田大暉[1]，宮腰大輝[1]，○佐原純輝[2]，平塚傑工[3]，小口治久[4]，浅井朋彦[5]
Fumiya Akimoto[1], Manami Okada[1], Fumiyuki Tanaka[1], Daiki Hishida[1], Daiki Miyakoshi[1],
*Junki Sahara[2], Masanori Hiratsuka[3], Haruhisa Koguchi[4], Tomohiko Asai[5]

Abstract: Non-equilibrium atmospheric pressure plasma is utilized for removal of Diamond-Like Carbon (DLC) film. Non-equilibrium atmospheric pressure plasma, which generates several reactive species such as O_3, OH･, and so on, have high chemical reactivity and are expected as innovative applications in material processing and biomedicine. In this study, LF (Low frequency) plasma jet is utilized for removal of DLC film.

１．背景・目的

ダイヤモンドライクカーボン（Diamond-Like Carbon: DLC）は，高硬度，耐摩耗性，低摩擦性，ガスバリア性，生体親和性などの優れた特徴を持ち，医療や自動車など幅広い分野で応用されている．様々な機能を発現する DLC については，成膜技術に関する研究[1]はもちろん，材料の再利用などを目的とした除膜技術に関する研究も行われている．従来の DLC 除膜法として，低気圧酸素プラズマを利用したものがあり，これは DLC がプラズマ中のイオンやラジカルと反応し，炭素系ガスとなることで除膜を行うものである[2]．しかし，低気圧下で処理を行うことから，コストや処理時間などの課題があげられる．

真空容器を必要としない非熱平衡大気圧プラズマ（Figure 1）は，低温かつ電子温度が高いといった特徴を持ち，表面改質や滅菌などの分野で応用されている．特にプラズマ生成に伴い発生する O_3 や OH･などの活性種やラジカルは高い反応性を有し，これらを積極的に応用した癌治療や燃焼支援などの研究がなされている[3], [4]．

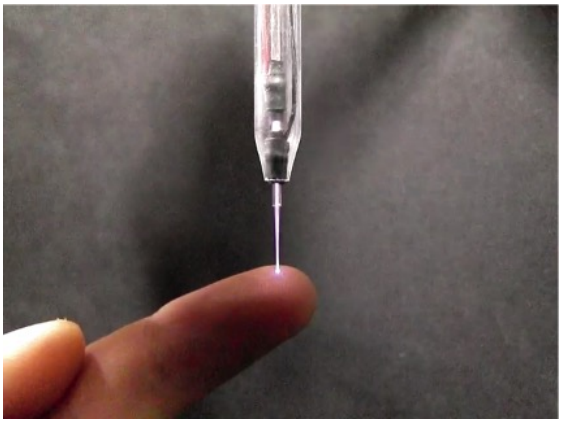


Figure 1. A picture of non-equilibrium atmospheric pressure plasma jet.

DLC 除膜に関する上記の課題を解決する手法として非熱平衡大気圧プラズマを用いた除膜法を提案する．本手法は，真空容器や酸素ガスが不要なため従来に比べ低コストであり，プラズマ生成部の装置形状によって照射範囲を限定・拡張できることから，微細処理や大面積処理など需要に合わせた処理が可能であることが期待される．本研究では，非熱平衡大気圧プラズマおよび付随して発生する活性種やラジカルを利用した DLC の除膜について実験的検証を行う．

２．実験方法

本実験で用いた装置系の概略図および外観図を Figure 2 および 3. (a)に示す．本装置では，実験条件の再現性を重視し、プラズマ生成に重要なパラメータであるガス流量および印加電圧，またプラズマ生成時間などを、PC 上の専用アプリケーションで事前にプログラムし、制御する仕様となっている（Figure 3. (b)）．印加電圧に関しては，周波数 20 kHz で最大 10 kV まで連続的に制御できる．また，ガスに関しては 3 種類まで使用でき，ガス種によるプラズマ照射効果の比較や混合ガスプラズマを用いた実験にも応用可能な設計となっている．

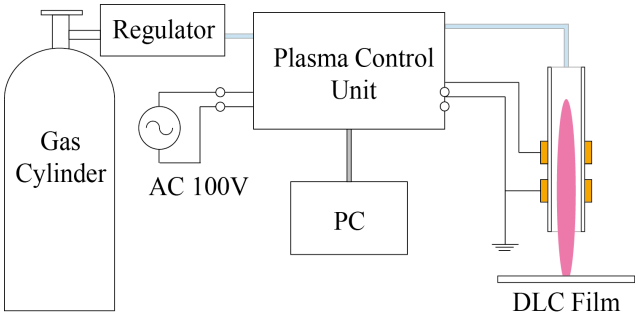


Figure 2. Schematic of experimental setup.

１：日大理工・学部・物理　２：日大理工・院（前）・物理　３：ナノテック株式会社　４：日大理工・研究員
５：日大理工・教員・物理

(a)

(b)

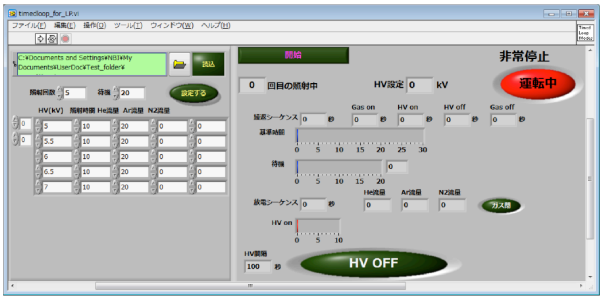
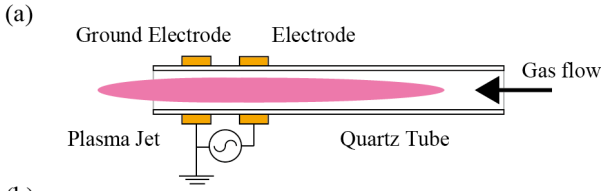


Figure 3. (a) A picture of plasma control unit. (b) A screen of plasma control application.

プラズマ生成ヘッド部においては装置構造が単純な LF（Low Frequency）プラズマジェットを使用した（Figure 4）．石英管の長さは 65 mm，内径 1.7 mm，外径 2.8 mm である．電極には長さ 5 mm の銅テープを使用し，電極間距離および石英管先端-接地電極間距離は 10 mm とした．印加電圧 10 kV，ガス流量 2.00 L/min，動作ガスをアルゴンガスとして，3 分間の照射を行った．

(a)



(b)

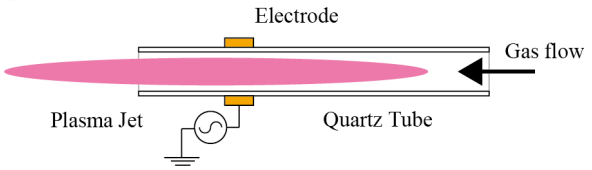


Figure 4. Schematic of LF (Low frequency) plasma jet. (a) applied electrode and ground electrode type, (b) only applied electrode type.

3．実験結果

照射処理した結果を Figure 5 に示す．処理を行った試料左下に数ヶ所の局所的な剥離が確認でき，アルゴン LF プラズマジェットを用いた DLC の局所的除膜法の可能性が示唆された．

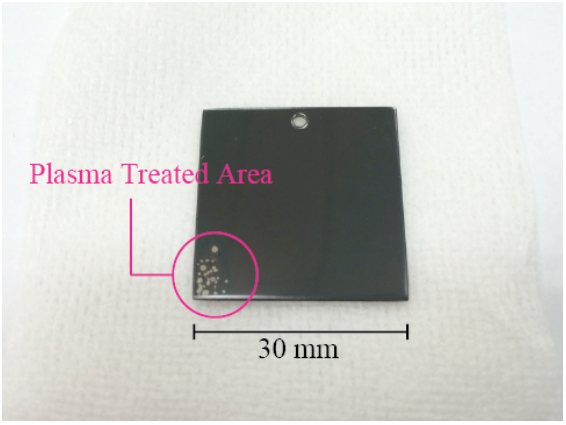


Figure 5. DLC film treated by LF plasma jet. Plasma treated area is only lower left of the film.

4．今後の展望

現在，物理学プロジェクト工房の活動の一環である「物理学プロジェクト実験」にて，学部学生主体のプロジェクト研究として非熱平衡大気圧プラズマによる DLC 除膜の研究を行っている．今後は，プラズマ生成のパラメータ（印加電圧，ガス流量，照射時間，ガス種）を変化させ，除膜効果への依存性を調べると同時に，DLC 除膜などの表面処理に最適化した装置の開発を行う予定である．

5．参考文献

[1] 加藤達也，石川有宰，浅井朋彦，平塚傑工，高津幹夫：「イオンの電磁加速を用いた DLC 薄膜の生成」，平成２７年電気学会基礎・材料・共通部門大会講演論文集, 17-p-12, pp. 433, 2015.

[2] Kenji K Hirakuri, Kiichiro Kuwashima, Kazuya Tatsuta, Keisuke Sato “Etching of diamond-like carbon films deposited on polyethylene terephthalate”, Diamond and Related Materials, Vol.14, pp.1067-1072, 2005.

[3] 齋藤孝輔，浅井朋彦，福田昇，鈴木良弘，照井正，上野高浩，篠島由一，小口治久，五十嵐潤，藤原恭子，相馬正義：「低温大気圧プラズマ技術を用いた癌治療方法の開発」，日本大学医学部総合医学研究所紀要，Vol.2, pp.9-14, 2014.

[4] 白石泰介，漆原友則：「低温プラズマによる HCCI 燃焼自着火促進技術に関する研究」，自動車技術会論文集，Vol.42, No.6, pp.1361-1366, 2011.