O-36

同軸イオン加速法による炭素薄膜生成における膜硬度の電界強度依存性

Dependence of film hardness on applied electric field in a Carbon thin-film deposition by coaxial ion acceleration method

○石川有宰[2]，小林大地[1]，山田翔大[1]，関口純一[3]，高津幹夫[4]，平塚傑工[5]，浅井朋彦[3]
*Yusai Ishikawa[2], Daichi Kobayashi[1], Shoudai Yamada[1],
Jyunichi Sekiguchi[3], Mikio Takatsu[4], Masanori Hiratsuka[5], Tomohiko Asai[3]

Abstract: A novel technique of DLC (Diamond-Like Carbon) thin-film deposition utilizing a magnetized coaxial ion accelerator has been developed. In the developed coaxial ion acceleration method, an ion is deflected by an electric field applied between the substrate and film formation chamber. It potentially reduces macro-particle contamination onto the formed the DLC thin-film and increases the injection energy of ion. In this work, dependency of the film hardness on an applied electric field has been evaluated.

１．背景

高硬度，低摩擦係数，耐摩耗性などの多様な特徴を持つ炭素薄膜，ダイヤモンドライクカーボン（Diamond -Like Carbon：DLC）は，多岐の産業分野に渡り応用されている．一般に，プラズマを用いた生成法では，DLC の硬度は炭素イオンの衝突エネルギーと水素含有量に依存する[1].

DLC 膜は，一般に sp^3 結合成分と sp^2 結合成分および水素の含有量でその物性が変化する．特に，sp^3 結合成分が支配的となる場合，DLC 膜はダイアモンドのような性質を示し，その特性として硬度が高くなる．膜硬度は, DLC 膜における重要なパラメータの一つである．

イオンの入射エネルギーと膜硬度に関して, イオンビーム成膜装置を用いて，C^+イオンによって成膜された DLC 膜における，イオンエネルギーと DLC 膜中の sp^3 含有率の関係は，イオンエネルギーがおよそ 100eV で sp^3 含有率が最大となる結果が得られている[2,3]. また，AIP(Arc Ion Plating)法で作成された DLC 膜の硬度に及ぼす基板バイアスの影響において，-100V で最大硬度を示しており，PVD(物理気相法)による DLC 膜の硬度についてイオンエネルギーへの依存性が支配的であることがわかっている[4].

２．目的

高硬度な DLC の実用化には, 炭素イオンの衝突エネルギーと水素含有量の制御，およびマクロパーティクルの低減が同時に必要となる．

これらを実現し得る DLC 薄膜生成の手法として, 磁化同軸イオン加速器（Magnetaized Coaxial Ion Accelerator: MCIA）を用いた応用研究を進めている[5]. 本研究では，この手法に電界制御を組み合わせ，偏向によるマクロパーティクルの低減およびイオンの入射エネルギーの上昇を試みる．

３．実験装置概要

本研究で用いた MCIA は，Figure 1 の左側のような同軸電極構造を持つ．電極間に放電ガスを導入し，電圧がかかることで電極間で絶縁破壊が起こり，この時の放電電流により内部電極表面はスパッタされる．このとき，スパッタされた電極材料のうち，イオン化したものは，放電電流とその電流のつくる磁場によるローレンツ力で加速・射出する．射出速度は放電電流に依存するため，加速電圧の上昇によるイオンの入射速度の増大が可能である．

本実験装置では，グラファイト製の内部電極を使用し，炭素イオンを含むプラズマを Figure 1 の右側に位置する基板へと輸送し，薄膜を堆積させる．

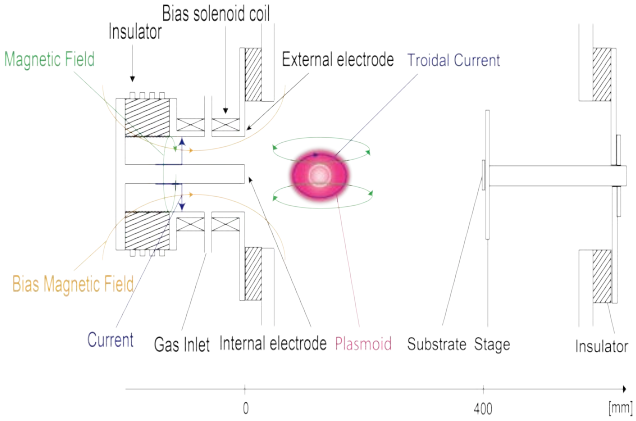

Figure 1. Schematic diagram of a developed deposition apparatus.

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

４．電界制御

MCIA が射出する基板へのイオンの入射エネルギーは，HIGH SPEED CAMERA（i-speed7 series, nac 社製）による撮影画像から，速度はおよそ 2.67km/s と推測される．その速度から運動エネルギーは，およそ 1.35eV だと見積もられる．ただし，イオン質量は Ar とし，また，光がすべて同じ速度で動いていると仮定する．そのため，高硬度な DLC 膜の生成において，MCIA の加速電圧の上昇により，生成される DLC 膜は硬度が増大すると期待される．しかし，加速電圧の増加に伴い，内部電極の溶発によるマクロパーティクルの増加も予想される．

そこで，基板を MCIA の入射軸からずらし，印加した電界によってイオンを偏向させ成膜することで，電界によるフィルタリング効果を期待している（Figure 2）．この手法では，イオンは電界によって基板へと加速されるため，イオンの入射エネルギーの上昇も見込める．

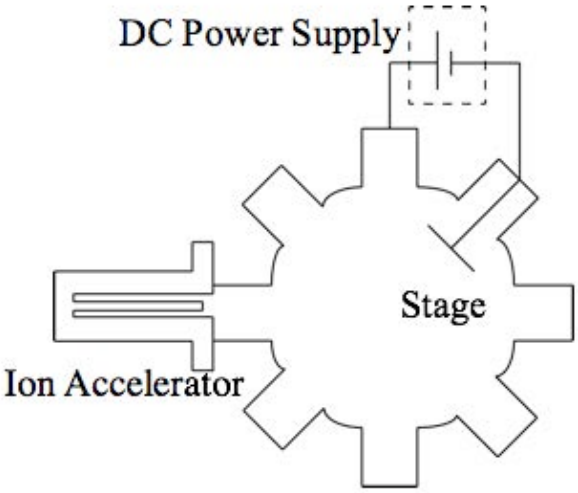

Figure 2. Schematic of an electric field control system.

銅製の内部電極を用いて行った予備実験における画像を Figure 3 に示す．画像から，目視であるが電界により，仰角方向の基板に膜が堆積されていることが確認できた．また，マクロパーティクルの数から，電界によるフィルタリング効果の可能性も確認された．

これらの結果から，電界の効果を踏まえ，グラファイト電極を用いた DLC 成膜を行った[5].

現在，生成された薄膜のパラメータの放電条件依存性の評価を進めている．

(a)　　(b)

Figure 3. Image of deposited copper film (a)without electric field and (b)with electric field applied.

５．まとめと今後の展望

DLC 膜の硬度は，イオンの入射エネルギーに強く依存し，先行する AIP 法の研究では硬度が極大値を取る電界強度があることがわかっている．

本研究では，磁化同軸イオン加速法と電界制御を適用し，DLC 膜の生成を試みた．これまでに行った実験では，硬度測定において，測定下限膜厚を下回っていたため，今後，膜厚を固定して硬度の電界強度依存性について検証を行う予定である．

６．参考文献

[1] 浅井朋彦他：「イオン電磁加速法を用いた炭素系薄膜の新規生成法および硬度制御法の開発」，平成 27 年度日本大学理工学部学術講演会予稿集，S3-8，2015.

[2] K.Yamamoto et al. : ”The sp^3 bond fraction in carbon films prepared by mass-separated ion beam deposition”, Diamond Related Material, Vol.10, No.3-7, pp895-899, (2001).

[3] P.J.Fallon et al. : “Properties of filtered-ion-beam-deposited diamond carbon as a function of ion energy”, Physical Review B, Vol.48, No.7, pp4777, (1993).

[4] S.Anders et al. : ”Effect of vacuum arc deposition parameters on the properties of amorphous carbon thin films”, Surface Coatings Technology, Vol.68-69, pp388-393, (1994).

[5] 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).

[6] 石川有宰他：「同軸イオン加速法による炭素薄膜生成における電界制御の適用」，平成 28 年度電気学会基礎・材料・共通部門大会，5-P-12，2016.