105 イオンビームスパッタリングによる DLC 膜合成への 電子ビーム励起プラズマ援用

Enhancement of Electron Beam Excited Plasma for Ion Beam Sputtering Deposition of DLC Film

○ 田淵公一 平田 敦 (東京工業大学大学院)

Kouichi TABUCHI, Tokyo Institute of Technology, 2-12-1, O-okayama, Meguro-ku, Tokyo
Atsushi HIRATA, Tokyo Institute of Technology

A new type of deposition process, enhancement of electron beam excited plasma for ion beam sputtering deposition of diamond-like carbon (DLC) film, was proposed in order to deposit hydrogen-free, sp^3 bonding rich DLC film. With enhancement of electron beam excited plasma, DLC film was deposited at higher growth rates by ion beam sputtering deposition. Furthermore, electron beam excited plasma influenced characteristics of DLC film. To examine the influence of enhancement of electron beam excited plasma, we deposited DLC films with electron beam excited plasma, before deposition, after deposition, or during deposition. As a result, the lowest friction DLC film was deposited with the enhancement during deposition of DLC.

Key Words: DLC film, sputtering, electron beam excited plasma, ion beam

1.はじめに

DLC (ダイヤモンドライクカーボン) 膜はダイヤモンド結合とグラファイト結合の混在する炭素膜である。そのため、高硬度・強度である、低摩擦である、耐摩耗性が高い、化学的に安定である、電気抵抗が大きい、可視光や赤外線透過するなどダイヤモンドに近い性質を有す。このため、DLC 膜は工具、電気部品、光学部品などの幅広い分野に利用されている。

DLC 膜の合成法は化学気相成長法 (CVD 法) と物理気相成長法 (PVD 法) の 2 つに大別される。

CVD 法は、一般に水素で希釈された炭化水素ガス (CH_4 , C_2H_2 など) を低圧中でプラズマまたは放電でイオン化し、その炭化水素イオンを基板に衝突させて成膜する。しかし低温処理で水素や炭化水素ガスを使用するため、膜中に水素が混入してしまう。

PVD 法では、レーザーアブレーション法やイオンビームスパッタ法などにより、高エネルギーを持つ粒子によって固体炭素を蒸発、励起し基板上に成膜する。そのため膜に水素を含まずに合成することが可能であるが、励起が不十分のため膜に黒鉛の粒子が混入することがある。¹⁾

そのため、近年 DLC 膜の合成には、様々な合成方法を組み合わせることで、よりよい特性を持った DLC 膜を合成する方法が試みられている。本報告では、炭素の蒸発にはイオンビームを、励起には電子ビームを用いて、原料炭素の励起の不十分さを補うことのできる複合荷電粒子ビーム法による合成装置²⁾を用いて DLC 膜の合成を行った。そして、電子ビーム照射法を変化させて DLC 膜合成に与える影響について検討した。

2. 合成装置

DLC 膜を合成するために使用した複合荷電粒子ビーム法による合成装置を図 1 に示す。

固体炭素の蒸発に使用したイオンビーム源には小型 ECR イオン銃を用いた。このイオン銃は、電子サイクロトロン共鳴 (ECR) を利用して反応ガスをプラズマ化して

イオンを抽出し、照射するものである。炭素粒子の励起源として使用した電子ビームは熱電子放出を利用して反応ガスをプラズマ化し、励起空間を作ることができる。真空チャンバの排気系はロータリーポンプおよびターボ分子ポンプを使用し、到達真空度は 3.0×10^{-6} Torr である。

Fig.1 Schematic drawing of deposition system

3. DLC 膜の合成

DLC 膜の合成には基板に Si(111)、ターゲットに黒鉛を用いた。電子ビーム照射による DLC 膜へ与える影響を調べるために、複合荷電粒子ビーム法による DLC 膜合成の際、電子ビーム照射のタイミングを変えることで、合成される DLC 膜にどのような影響を及ぼすのかを検討した。

合成された DLC 膜の特性を比較するためには膜厚をそ

ろえる必要があると考え、まずイオンビームスパッタ法による合成法と、イオンビームスパッタと同時に電子ビームを照射した合成法での合成速度を測定した。合成条件は表 1 に示すとおりである。以降、合成条件は変えずに合成を行った。

Table 1 Deposition conditions

		Only I.B.	With E.B.
Ion beam			
Intensity	[mA/cm ²]	1.2	1.2
Acceleration Voltage	[kv]	1.5	1.5
Ar gas flow rate	[sccm]	1.0	1.0
Electron beam			
Discharge current	[A]	0	60
Discharge voltage	[V]	0	100
Ar gas flow rate	[sccm]	0	4.0
Deposition pressure	[Torr]	5.0×10^{-5}	4.0×10^{-4}

Fig.2 Relation between thickness and deposition time

電子ビームを併用することにより、イオンビームスパッタ法に比べて、合成速度は約 11nm/h から約 33nm/h と速くなっているのが分かる。また、同条件下では電子ビームの放電電圧が高いほど、合成速度が速くなっている。これは放電電圧が高いほど、炭素の励起を進めることができるためと考えられる。

次に電子ビーム照射のタイミングを変え、

- イオンビームスパッタ膜 (IBS)
- 電子ビーム照射後の基板に得られたイオンビームスパッタ膜 (EB before IBS)
- イオンビームスパッタ膜に電子ビーム照射を行った膜 (EB after IBS)
- イオンビームスパッタと電子ビーム照射を同時に行って得られた膜 (EB during IBS)

の 4 種類の膜の比較を行った。ここで、電子ビーム照射時間は 20 分にした。合成された DLC 膜の特性は摩擦係数を測定することで比較、評価した。測定は表 2 に示す条件で Ball-on-Dick 方式を用い、DLC の膜厚は、約 60nm とした。測定結果を図 3 に示す。

最初の約 10 秒間の摩擦係数はイオンビームスパッタ膜が最も高く、順にイオンビームスパッタ膜に電子ビーム照射した膜、電子ビーム照射後の基板に得られたイオンビームスパッタ膜、同時照射で得られた膜と低くなっている。イオンビームスパッタリング膜に照射した膜は、長時間摩

擦試験を行うとその摩擦係数は、シリコン基板の摩擦係数に近づいた。これは電子ビームの影響により、DLC 膜が剥離しやすくなって、長時間の摩擦により DLC 膜が剥離したためと考えられる。

Table 2 Friction test conditions

Ball material		SUJ-2
Ball diameter	[inch]	1/8
Sliding speed	[mm/s]	6.3
Load	[N]	0.49
Atmosphere		Air

Fig.3 Effect of E.B. on DLC films

4. まとめ

複合荷電粒子ビーム法を用いて、DLC 膜の合成を行った。その結果、電子ビームを同時に併用することで、イオンビームスパッタ法のみには比べ高速に DLC 膜を合成することができた。

また、電子ビーム照射は炭素粒子の励起を助けるだけでなく、照射するタイミングを変えることで得られる DLC 膜の摩擦係数を変化させ、イオンビームスパッタと併用して電子ビーム照射を同時に行って得られた DLC 膜が最も低摩擦であった。以上より、イオンビームスパッタに電子ビーム照射を同時に行うことで、低摩擦な DLC 膜を高速に合成できることが分かった。

5. 参考文献

- 1) 吉川昌範：気相合成ダイヤモンド、オーム社
- 2) 真下尚洋、野口賢次、吉川昌範、平田敦：電子ビーム励起プラズマ援用イオンビームスパッタリング法によるダイヤモンドライクカーボン膜の気相合成、精密工学会誌 2000.10. Vol66 p1621-1625