

パルス DC プラズマ CVD 法による DLC 膜の特性と応用

河田 一喜*

*オリエンタルエンジニアリング(株) (〒350-0833 埼玉県川越市芳野台 2-8-49)

Application and Properties of Diamond-Like Carbon Coatings by Pulsed DC Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition

Kazuki KAWATA*

*Oriental Engineering Co., Ltd.(2-8-49, Yoshinodai, Kawagoe-shi, Saitama 350-0833)

Key Words : DLC, PECVD, Pulsed DC, Tribology

1. はじめに

DLC(Diamond Like Carbon)膜は、高硬度、低摩擦係数、高熱伝導度、高電気絶縁性等の優れた特性をもっている。このような優れた特性をもった DLC 膜は、イオン化蒸着法(Ionization Deposition)¹⁾、高周波(RF)プラズマ CVD 法(RF Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition)²⁾、マグネトロン・スパッタリング法(Magnetron Sputtering)³⁾、カソードイック・アーク・エバポレーション法(Cathodic Arc Evaporation)⁴⁾などの各種の成膜方法により作製されている。また、DLC 膜といっても、プロセスの違いにより硬さ、摩擦係数、表面粗さ、抵抗率などがそれぞれ違っている。

炭化水素ガスを原料として DLC 膜を作製するプラズマ CVD 法は、他のプロセスに比べて、蒸着速度が速く、表面が滑らかな膜を作製できる。プラズマ CVD 法の中でも高周波プラズマ CVD 法に比べて、パルス DC プラズマ CVD 法(Pulsed DC Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition)⁵⁾は、装置価格が安く、しかも装置をスケールアップしやすいという特徴を持っている。すなわち、パルス DC プラズマ CVD 法は高周波プラズマ CVD 法のように、処理品の表面積、形状によってマッチングをとる必要がなく、多種類の処理品を均一なプラズマの下で混載処理可能である。

また、最近では PSII(Plasma Source Ion Implantation)法により 3 次元立体形状物にイオン注入およびコーティングするプロセスの開発が進められている。このような PSII 法も基本的には、パルス DC プラズマを応用している。そのため、パルス DC プラズマ CVD 法は、その印加電圧を広範囲に可変できれば、イオン注入およびコーティングが可能である。

当社では、量産型パルス DC プラズマ CVD 装置による TiN, TiCN, (Ti, Al)N 膜などを各種金型に応用してきたが、1999 年に DLC 成膜用として量産型パルス DC プラズマ CVD 装置を開発し、その装置で作製した DLC 膜を S-DLC (Super-Diamond Like Carbon)膜と名づけ、各種金型およ

び機能部品への量産処理を開始した。そこで、本稿ではその装置の概要、膜特性および応用について報告する。

2. 量産型パルス DC プラズマ CVD 装置

図 1 に量産型パルス DC プラズマ CVD 装置の概略図を示す。本装置は、真空容器、内部ヒーター、処理品回転機構、真空排気系、パルス DC 電源、各種ガス供給系、コンピューター制御系より構成されている。有効処理寸法は、 $\phi 450 \times H 550$ mm で、最大処理重量は 300 kg である。そのため、大重量の金型や小物部品の大量処理が可能である。処理温度は、処理品の用途に応じ、室温から約 500°C まで対応できる構造になっている。処理の種類としては、DLC 膜などの各種皮膜被覆処理、窒化、浸炭、浸炭窒化などの拡散硬化処理、イオン注入処理およびそれらの複合処理があり、各種の用途に対応できるようになっている。

3. DLC 膜の特性

プラズマ CVD の処理条件を変化させることにより膜中水素量や構造を変化させることができる。そのことにより膜硬さも変化させることができる。たとえば、ナノインデンター

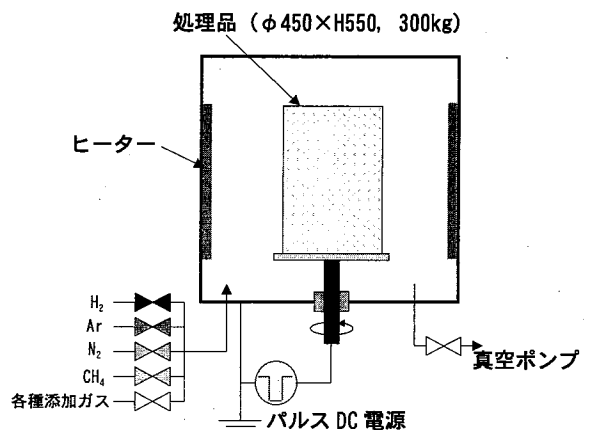


図 1 量産型パルス DC プラズマ CVD 装置

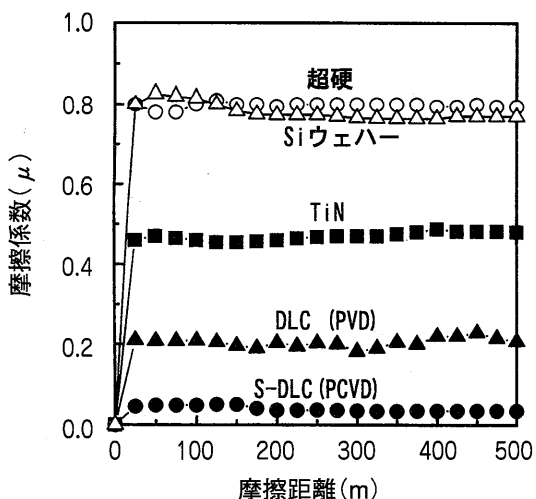


図2 各種試料の摩擦係数と摩擦距離との関係
(ボール: SUJ 2, 荷重: 5 N, 摩擦速度: 100 mm/s, 無潤滑)

ション(nano-indentation)法による膜硬さを約10 GPaと低く抑えた S-DLC 膜は、摩擦係数を0.1以下と低くすることができる。図2にボール・オン・ディスク型摩擦摩耗試験機により各種試料の摩擦係数と摩擦距離との関係を調査した結果を示す。硬さを低くした S-DLC 膜(PCVD)は、通常のイオン化蒸着法による DLC 膜(PVD)より摩擦係数を低くすることができる。また、その時のディスク摩耗痕は観察ができないほど小さかった。

つぎに、自動車部品、特に動弁系部品に応用する場合、高面圧の状態でも摩擦係数が低く、耐焼付き性に優れていることが要求される。そこで、そのような耐焼付き性を評価する目的でファビリー摩擦摩耗試験を実施した結果を図3に示す。ガス浸炭品は約500 kgの荷重で焼付き、また、ガス軟窒化品は約600 kgの荷重で焼付いている。それに対し、S-DLC品は約1850 kgの荷重においても摩擦係数が低く焼付きが発生していない。

以上のように、パルス DC プラズマ CVD 法による DLC 膜は、低摩擦係数で耐摩耗性および耐焼付き性に優れているため各種の摺動部品に応用が期待できる。パルス DC プラズマ CVD 法による DLC(S-DLC)膜の特徴をまとめると、つぎのようになる。

- ① 中間層、各種拡散硬化層やイオン注入との複合処理、金属や軽元素含有による膜内応力緩和により密着性が大幅に向上可能。
- ② PVD 法と違って処理圧力が高いため、膜のつき回りが良く3次元立体複雑形状品に応用可能。
- ③ 膜内応力を制御することにより1 μm から10 μm までの厚膜まで処理可能。
- ④ 小物部品の大量処理から300 kg までの重量物の処理可能。
- ⑤ a-C : N, Me-DLC, DLN, a-CBN などの炭素系新機能

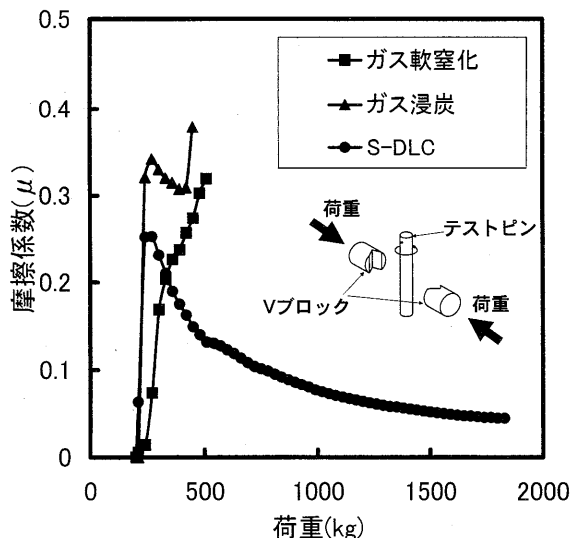


図3 各種試料のファビリー摩擦摩耗試験結果
(ピン, Vブロック, SCM 415 浸炭焼入れ焼戻し品, 表面硬さ 60 HRC, 摩擦速度: 100 mm/s, 無潤滑)

コーティングも処理可能。

4. DLC 膜の応用

つぎに、DLC 膜の応用可能な金型および部品について以下に示す。

- ・精密プラスチック金型、・自動車、繊維機械部品、・紙、非鉄金属用切削工具、・コンピューター、VTR 駆動部品、
- ・パイオ、医療機器部品、・マイクロマシーン部品、・半導体関連金型、部品、
- ・金属、セラミックス圧粉金型、
- ・Al 加工用金型、工具、
- ・無潤滑部品、
- ・ロボット部品、
- ・Al, Ti 合金製摺動部品、
- ・各種装飾品、
- ・CO₂ レーザ、赤外線窓、
- ・光学製品、
- ・ゴム製品、
- ・その他各種ハイテク産業部品

5. おわりに

パルス DC プラズマ CVD 法は、シンプルな装置構成で3次元立体複雑形状品に均一に DLC 膜をコーティングできるため、各種の金型や機能性部品に幅広く応用できる可能性がある。

(2002-9-30 受理)

文 献

- 1) 植田稔晃, 中村 崇, 井手幸夫, 向井楠宏; 日本金属学会誌, 58, 1120 (1994)
- 2) E. H. A. Dekempeneer, J. Smeets, J. Meneve, L. Eersels and R. Jacobs; *Thin Solid Films*, 24, 269 (1994)
- 3) D. P. Monaghan, D. G. Teer, P. A. Logan, I. Efeoglu and R. D. Arnell; *Surf. Coat. Technol.*, 60, 525 (1993)
- 4) B. F. Coll, P. Sathrum and R. Aharonov; *Thin Solid Films*, 209, 165 (1992)
- 5) 河田一喜; 表面技術, 52, 810 (2001)