

NACHI  
**TECHNICAL**  
**REPORT**  
Materials

Vol. **34**B7  
October/2018

マテリアル事業

■ 新商品・適用事例紹介

ハイブリッドイオンプレーティング装置  
「SPS-2020型」

Hybrid Ion Plating Equipment "SPS-2020"

〈キーワード〉 DLC・コーティング・PVD・CVD・HCDガン  
耐摩耗・低摩擦

サーモテック事業部／技術部

高井 健志 Takeshi Takai

山口 淳一 Junichi Yamaguchi

## 要 旨

金属製品の長寿命化・性能向上のため、幅広い産業分野でコーティングが行なわれて久しい。その中で炭素を主成分とするDLC(Diamond Like Carbon)膜の需要は、耐摩耗性・非凝着性・低摩擦性に優れ、ドリル・エンドミルなどの工具や、金型、自動車部品などに広く用いられており、市場は堅調に拡大している。それにあわせDLC成膜装置の高速化・高品質化のニーズが高まっている。

本稿ではそのニーズにこたえるため、高速かつ高品質なDLC成膜を実現する装置として開発した、ハイブリッドイオンプレーティング装置「SPS-2020型」について紹介する。

## Abstract

Coating of metal products has been an established practice for many years in wide-ranging industrial sectors for prolonging lives of metal products and improving the performances. Among the various types of coating, the demand for DLC (Diamond Like Carbon) coating using carbon as a main ingredient has increased, steadily expanding the market. This is because DLC coating has superb wear resistance, no adhesion and low friction features and is widely used for the cutting tools such as drills and end mills, dies and automobile parts. At the same time, the needs for high-speed and high-quality DLC coating equipment have been increasing.

The article introduces “SPS-2020”, hybrid ion plating equipment that is developed to realize high-speed and high-quality coating, responding to the needs.

## 1.はじめに

DLC膜は高硬度、低摩擦、耐摩耗性など優れた機械的特性を有することが知られている。成膜は一般的にスパッタリングやイオンプレーティングなどのPVD法やプラズマCVD(PCVD)法が用いられ、製法や条件により性質が変化する。例えば原料にカーボンターゲットを使用したスパッタリングと、炭化水素系のガスを使用してPCVDにて成膜する場合を比較すると、前者では膜中に水素を含有しない硬い膜、後者は膜中に水素を含有した柔らかい膜が得られやすい。またTi、Si、Crなどの異種元素を添加した金属添加DLCや、撥水性を持たせたフッ素含有DLCなど製法は幅広く、切削工具や摺動部品、金型などその用途は多岐にわたる。最適なDLC膜を得るためには、用途にあわせて膜の特性を調整する必要がある。またDLC膜はTiNやCrNなど他のコーティング膜と比較して、基材との密着性が弱く、いかに密着を向上するかが重要である。よってDLC膜を成膜する装置には密着性を上げ、コーティング層を用途にあわせて組成を変化できることが求められる。



## 2. 「SPS-2020型」の概要

ハイブリッドイオンプレーティング装置「SPS-2020型」の基本諸元を表1に示す。成膜有効範囲はφ500×h500mmとし、部品から棒物まで対応可能とした。適用膜種は需要が高まっているDLCを標準ソフトとし、その他TiN、CrN、TiAlNなども成膜可能とすることで汎用性の高い装置とした。「SPS-2020型」の外観写真を図1に示す。装置は成膜する本体と制御電源の2つに分かれている。分けることにより、設置スペースに対応した装置レイアウトを可能とした。装置内部の概略を図2に示す。装置は左右対称構造になっており、本体上部にプラズマ発生源であるHCDガンを搭載し、本体側面に成膜原料となるターゲット、本体中央のワーク回転台にワークを設置する。成膜はHCDガンから発生するイオンビームを収束コイルによりコントロールし、ターゲット、ワーク付近のイオン化率を向上しつつ、ビーム中のArイオンにより原料をスパッタして行なう。また成膜時にガスを導入し、ワークに直流の負電圧を印加することでPCVD成膜も可能である。DLC成膜はHCDガンのイオンビームによるスパッタリングとPCVDの2方式で行なっており、これがハイブリッドイオンプレーティング装置という名前の由来となっている。

表1 「SPS-2020型」基本諸元

型式	SPS-2020
成膜有効範囲	φ500×h500mm
処理量	200kg (N.C.)
寸法	5,000(W) × 4,500(L) × 3,000(H) mm
重量	4.0ton
電源	3φ 200V 50/60Hz 200kVA
冷却水	20℃以下の上水 0.1Mpa 最大30L/min.
使用ガス	Ar、C2H2、N2、LN2、Air
成膜可能膜種	DLC、TiN、CrN、TiAlN など



図1 外観

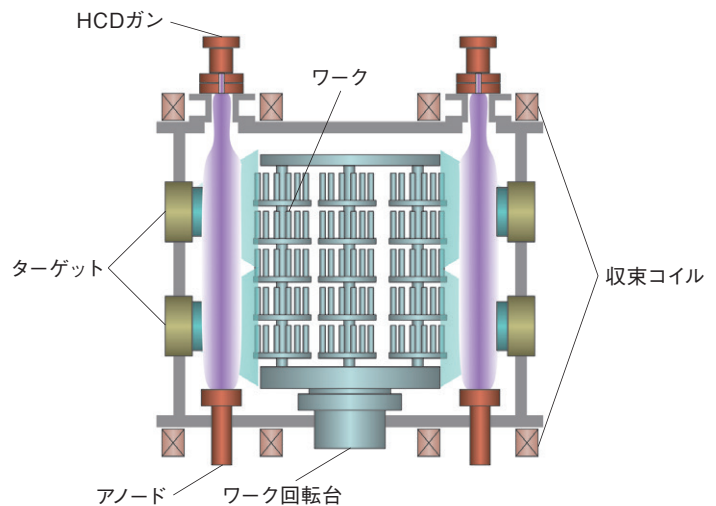


図2 外略図

### 3. 装置の特徴

#### 1) 高速DLC成膜

NACHIはHCD式イオンプレーティング装置を1983年より販売してきた。HCDガンの特徴は最大200Aという大電流の高密度イオンビームを発生できることであり、「SPS-2020型」にはHCDガンが2基搭載されている。HCDガンが発するイオンビーム中には多くのArイオンが存在しており、効率的に原料をスパッタリング、またはガスをイオン化できるため

成膜速度が向上する。同様にコーティング前のワークにおけるイオンクリーニング(ボンバード)も効率的に行なうことができ、DLC膜の高速処理が可能となった。コーティングの処理工程を図3に示す。ワーク自公転成膜において1 $\mu$ m成膜時のサイクルタイムは加熱～冷却まで約3.5時間となっており、NACHI従来機種対比で1.5倍超の高速処理ができる。



図3 処理工程

#### 2) ハイブリッド成膜

DLCの特性を活かすには密着性を上げ、使用目的にあわせて性質を調整する必要があります。

密着性は、膜と基材の間に基材と密着性が良い金属中間層を設けて改善ができる。「SPS-2020型」では、スパッタ法でTiSi中間層を成膜し、PCVD法でDLCを連続成膜する。「SPS-2020型」によるDLC膜の構造例を図4に示す。Tiが基材と中間層、

Siが中間層とDLCの密着性を確保する構造であり、SEM画像では欠陥のない密着性の良い膜であることが分かる。

またワーク電圧とDLC膜硬度の関係を図5に示す。膜硬度はワークにかかる電圧、成膜圧力に相関があり、スパッタ法とPCVD法の条件を調整することで膜質コントロールが可能である。

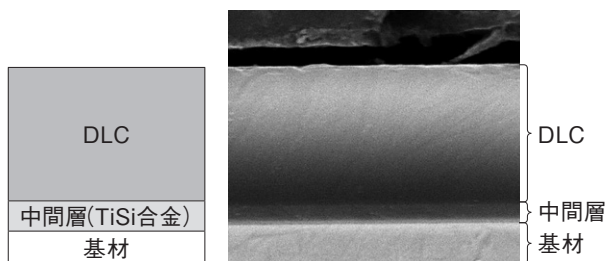


図4 DLC膜構造例

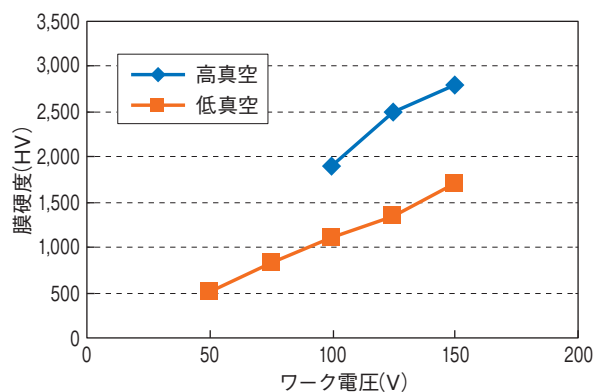


図5 ワーク電圧とDLC膜

### 3) 安定した成膜品質

成膜分布のバラツキが大きいと、装置が大きくても成膜有効範囲が狭くなるので、1回あたりの処理量が減ってしまい、処理コストが増加する。反対にバラツキが少なく、有効範囲全てに処理品が挿入できれば低コストで処理可能となる。よってコーティング装置において膜厚や膜硬度のバラツキを抑えることは重要である。「SPS-2020型」において成膜

原料となるターゲットやガス導入口の配置は、設計段階の計算と実際の成膜結果より割り出した最適配置となっている。有効範囲内φ500×h500mmにテストピースを5段設置した際のDLC膜厚および膜硬度分布を図6に示す。膜厚のバラツキはMax-Min法にて±10.5%、膜硬度は±4.4%と良好な分布が得られている。

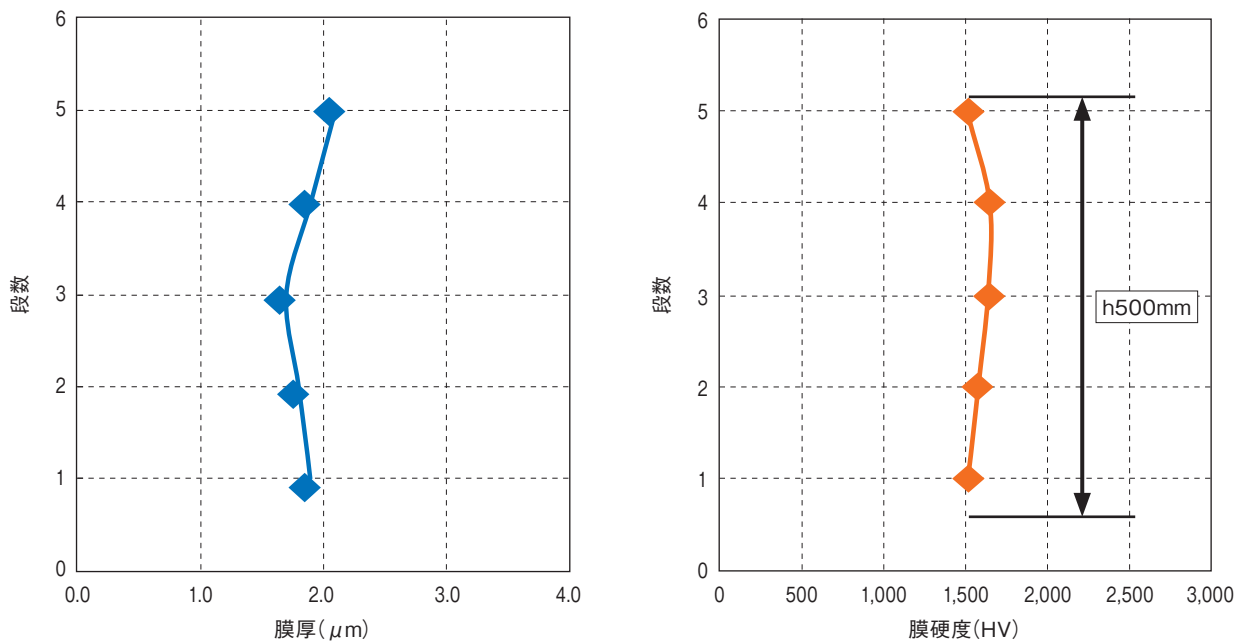


図6 DLCの膜厚および膜硬度分布

#### 4) 豊富な成膜バリエーション

HCDイオンプレーティング装置は、イオンビームの通電加熱により、原料を加熱・蒸発する装置である。そのため、密着性、表面粗さなどの膜特性は優れるものの、融点の異なる合金材料成膜には不向きであった。「SPS-2020型」はイオンビームのスパッタ法とPCVD法の機能をあわせもっており、従来機ではできなかった合金膜の成膜も可能となっている。成膜可能膜種を表2に示す。DLC

ではPCVD法による硬さ柔らかめのDLC-S、硬めのDLC-Hの他にPCVD法と金属ターゲットを使用したスパッタ法の同時成膜によるMe-DLCも成膜可能である。また従来膜種であるTiN、CrNに加えTiAlNやAlCrNといった合金膜の成膜も可能であり、汎用性の高い装置となっている。

表2 成膜可能膜種

膜種	標準膜厚 ( $\mu\text{m}$ )	膜硬度 (HV)	摩擦係数	耐熱温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	特徴	主な用途
DLC-S	0.5 ~ 3	300 ~ 1,500	0.1	300	低摩擦係数 耐摩耗性	切削工具 金型 摺動部品
DLC-H	0.5 ~ 1.5	1,500 ~ 3,000				
Me-DLC	0.5 ~ 1.5	500 ~ 1,500				
TiN	2 ~ 4	2,000 ~ 2,800	0.6	400	耐摩耗性 広い適用性	切削工具 金型
CrN	2 ~ 4	1,100 ~ 2,000	0.5	700	耐熱性 非凝着性	金型 摺動部品
TiAlN	2 ~ 4	2,200 ~ 3,000	0.7	850	耐摩耗性 耐熱性	切削工具

## 4. 成膜実施例

DLCは高硬度、低摩擦、耐摩耗性において優れた機械的特性を有することから摺動部品における需要が高まっている。NACHIでは「SPS-2020型」を使用し、表3に示す仕様にて図7に外観を示すプランジャー(摺動部品)へ成膜を試みた。成膜後のプランジャーを水用機器に組み込み、水中で約5億回の往復運動をしても摩耗は見られず、良好な密着性と耐摩耗性が確認できた(図8)。その他にも図9に示すような処理品への成膜の応用が期待できる。

表3 プランジャー向けDLC成膜仕様

膜種	DLC-S
処理品	プランジャー
設置方法	有効寸法h500mm内に5段設置
膜厚	1.7 ~ 2.1 $\mu$ m
膜厚分布	$\pm$ 10.5%
膜硬度	HV800 ~ 900
摩擦係数	0.07 (対SUS304)
成膜温度	約250 $^{\circ}$ C



図7 DLC-Sプランジャー外観

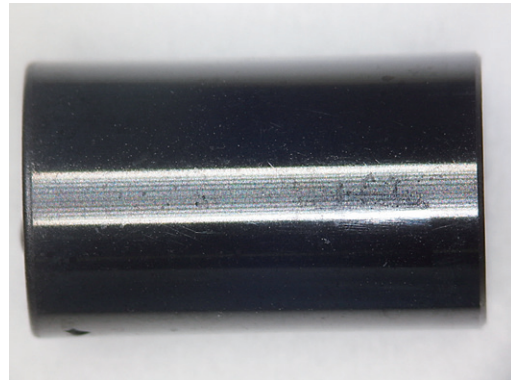


図8 使用後外観



DLC: 切削工具



CrN: 自動車部品



TiN: 金型

図9 成膜応用例

## 5. まとめ

DLC成膜が可能な新しいコーティング装置として「SPS-2020型」とその成膜例を紹介した。

コーティング市場におけるDLCの需要は冒頭にも記したとおり堅調に拡大している。NACHIは引き続き低摩擦、耐摩耗膜の普及をはかり、併せて従来型の合金膜成膜ソフトのラインナップと装置バリエーションの拡大をすすめ、需要家のニーズにこたえていく。