

NACHI-BUSINESS

Materials **news**

Vol. **8** B2
August/2005

マテリアル事業

■ 新商品・適用事例紹介

「低温処理スパッタリング装置と DLCコーティングへの応用」

Low-temperature Sputtering Unit
and Application to DLC Coating

〈キーワード〉 DLC・スパッタリング・トライボロジー・低温コーティング
低摩擦係数・PVD・PCVD・機械部品・汎用構造材料

クリーンサーモ事業部／コーティング部

須貝 賢一 Kenichi Sugai

松波 浩二 Koji Matsunami

開発本部／開発三部

橋本 孝信 Takanobu Hashimoto

要 旨

これまで難しかった汎用構造材料への低温DLCの成膜が可能なスパッタリング装置を開発した。本装置には2枚の長方形のターゲットが斜めに対向した傾斜対向型ターゲットを2組配置した。さらに、それらの外周に電磁石を置いたことにより、従来の同型装置に比べ、成膜速度が早くなり、180℃以下の低温処理が可能になった。本装置は直径600mm、高さ900mmの処理空間を持ち、大物の処理や小物の大量生産が可能になった。

本稿では、このスパッタリング装置と本装置を用いて成膜した低温DLC膜の特性について紹介する。

Abstract

Nachi developed and marketed a new sputtering unit that enables the DLC film formation on all-purpose structural materials under low temperature. The unit is equipped with two pairs of obliquely-facing targets, meaning that two rectangular targets are facing each other obliquely, and electromagnets around the circumferences of these targets, enabling film formation faster than the conventional systems and low-temperature processing of 180°C or lower. The cylindrical chamber of 600mm in diameter and 900mm in height enables the processing of large materials as well as the mass processing of small materials.

Introduced here are our new sputtering unit and the characteristics of DLC film formed at low temperature with this unit.

1. 応用分野を広げる 低温DLC膜

近年、地球環境に対する意識が高まり、企業活動においてISO14000などの環境に対する取り組みが、当たり前となっている。

こうした中、コーティング技術は省エネルギー、省資源、有害物質の削減について期待されている。さらに表面処理を行なうことで、さまざまな分野でトライボロジー特性の向上が期待されている。^{※1}

とくに低摩擦特性、耐摩耗特性を持つDLC (Diamond Like Carbon) 膜は、切削工具のドライ加工に効果を上げている¹⁾。このほか、自動車をはじめとしたさまざまな部品の摺動部への展開が期待されている。DLCは成膜方法により硬軟で幅広く変化させることができ、自動車部品の燃料噴射ポンプやクラッチディスクへの応用、ビデオデッキやハードディスクの保護膜、さらにはガスバリア膜としてのペットボトルの内壁へのコーティングなどに分野が広がっている。^{※2}

一般に、各種機械部品には汎用機械構造材料や軸受鋼を用いることが多い。従来の設備を使って400℃以上でコーティング処理すると、図1に示す軸受鋼SUJ2の焼もどし曲線に見られるように、材料が硬度低下するため、その適用に問題があった。

本稿では、新しいコーティング技術の確立を目的として、機械部品をはじめとした汎用構造材料の機能向上をめざし開発した、低温処理スパッタリング装置と、同装置による低温DLC膜の応用について紹介する。

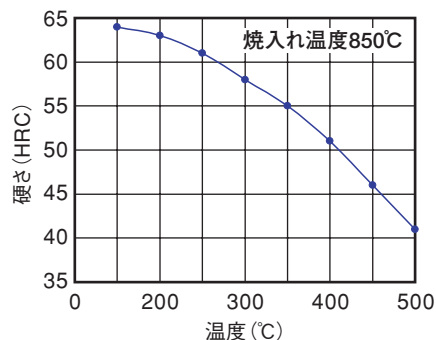


図1. SUJ2鋼の焼もどし曲線



2. スパッタリング法

図2に表面処理の種類を示す。これらの中から材料の目的機能に合わせて適切な表面処理を選択することになる。NACHIではドライめっきとも呼ばれるPVD (Physical Vapor Deposition:物理蒸着) 法で硬質セラミック膜を切削工具、金型を中心にコーティングしている。PVD法は、溶解法・スパッタリング法・アーク法と大きく3種類に分けられる。溶解法は成膜速度が速く、平滑な表面を得やすいという特長を持つが、複数の金属元素を1つの蒸発源から同時に制御性良く蒸発させることが難しいという問題がある。また、アーク法は合金膜の成膜が容易で成膜速度が速いという特長があるが、他の方法に比べて表面が粗くなるという問題がある。

そこで、我々は平滑な合金膜の成膜が容易で、かつ低温成膜が可能なスパッタリング技術に着目し、その設備を開発した。

図3にスパッタリングの模式図を示す。放電により生成したアルゴンなどの不活性ガスイオンを、ターゲットと呼ばれる負電位をかけた蒸発原料金属板に衝突させ、その衝撃により原料を処理空間にはじき出させる。飛び出した原料は基板に蒸着され、プラズマから入射したイオンの助けを借りて、反応ガスと反応させてワーク表面にセラミック膜を形成する。

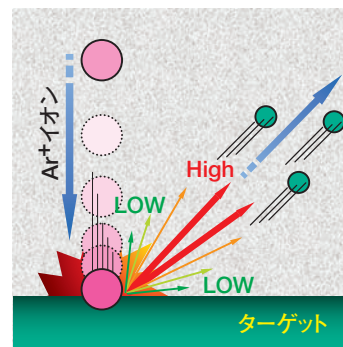


図3. スパッタリングの模式図

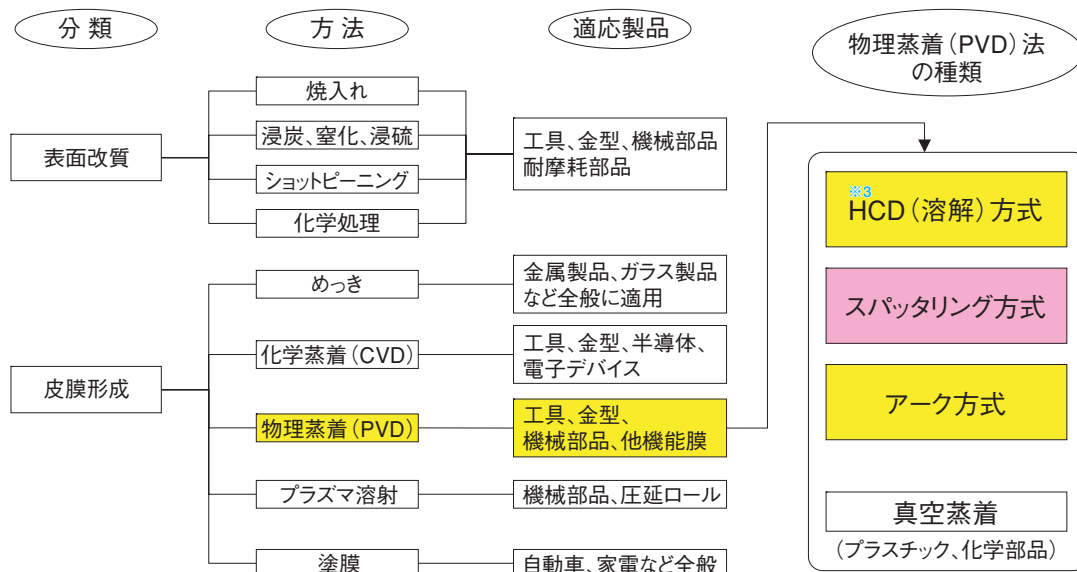


図2. 表面処理の種類

3. スパッタリング装置 –(SP-6090)–

図4に本開発のスパッタリング装置外観写真、図5に同装置の概略図を示す。本装置はターゲット内部に永久磁石を装備した^{※4}マグネトロンスパッタリング法を採用しており、永久磁石から発生する磁力線により、密度の高い安定したプラズマ放電が得られるようになってい

る。蒸発源は図5に示されるように、傾斜対向した1対のターゲット2組からなり、各ターゲットはワークに対して傾斜した配置となっている。これは前述(図3)のアルゴンイオンの衝突角度に対し45度の方向にはじき出される粒子の量が最も多く、エネルギーも高いことに由来している。左右2組のターゲット内部磁石の向きは磁力線が対向でつながるように配置してある。

さらに外部のブースター電磁石コイルと組み合わせることで、ワーク電流を広い範囲で制御できるように構成している^{2,3)}。



図4. スパッタリング装置外観写真

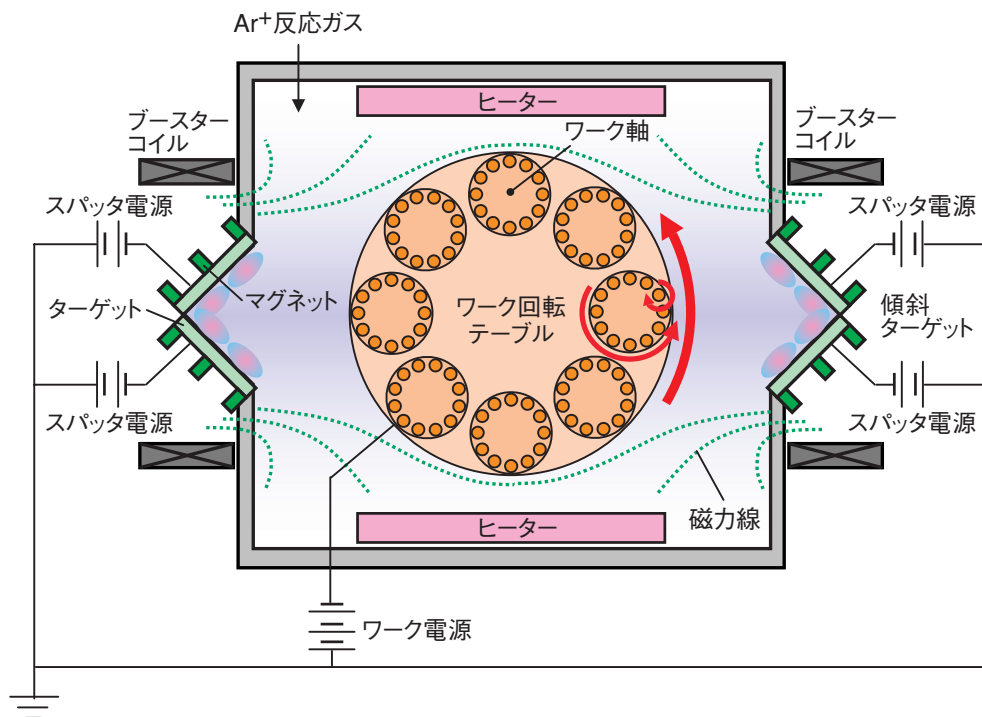


図5. スパッタリング装置概略図

4つのターゲットは個別に制御されているため、複数種の原料を使用することにより、高価な合金ターゲットを使用することなく、多元素膜の成膜が可能となる。

チャンバー内壁側面にはヒーターが設置されており、500℃までの高温処理にも対応できる。

本装置は直径600mm、高さ900mmのワークとり付け空間を有しており、φ150×900のワーク取り付け治具の場合、8軸分取り付けが可能である。各軸にはさらに小さな回転子がついており、遊星ギアの回転によってシングル、ダブル、トリプルターンまでの回転が可能で、φ6のNACHI標準ドリルであれば約950本のとり付けが可能となる。

表1に本装置の設備仕様、図6に設備配置例を示す。

表1.設備仕様

設備寸法	2000W×3900L×2300H (mm)
設置スペース	4000×6000 (メンテナンススペース含む) (mm)
処理品取付寸法	φ600×900H (mm)
最大処理重量	300kg

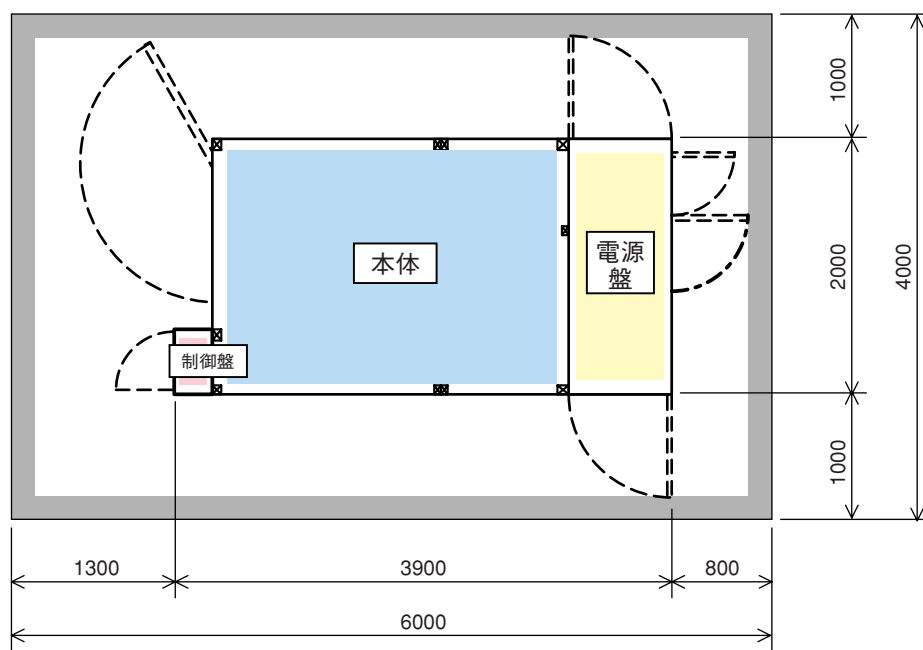


図6. 設備配置図(例)

4. 低温DLC膜への適用

スパッタリング法でDLCを成膜する場合、原料としてカーボンターゲットを用いる方法もあるが、カーボンのスパッタ率が非常に低く、成膜速度を稼げないため、本適用では炭化水素系のガスを分解反応析出させるPCVD (Plasma-assisted Chemical Vapor Deposition: プラズマ援用化学蒸着) 法を用いた。
※5 ガスの分解に援用するプラズマとしては、スパッタ蒸発用ターゲットの動作にともなって発生するプラズマを利用した。

DLC膜の密着性を確保するため、コーティング初期にスパッタリングによる金属下地膜を積層させた後、炭化水素系ガスを原料としたPCVD法に切り替えてDLCを成膜する。図7に本装置を用いて成膜したDLC膜の断面SEM写真を示す。母材の上に白く見える部分が金属下地膜で、その上にアモルファスのDLC層が成膜されている。

図8にワークの温度分布を示す。ワーク温度はヒーターの設定とコーティング条件からコントロールしており、その分布は高さ方向でほぼ均一になっている。

膜厚分布は、ガス流やプラズマ密度分布に左右されるが、それらを均一にすることで図9に示すような均一な分布が得られた。成膜速度は0.5~1.0 $\mu\text{m}/\text{h}$ 程度である。

図10に低温DLC膜の表面粗さを示す。コーティング後の表面粗さは、元の母材の状態より若干粗くなっているものの、母材の粗さの変化は図10のごとくわずかである。

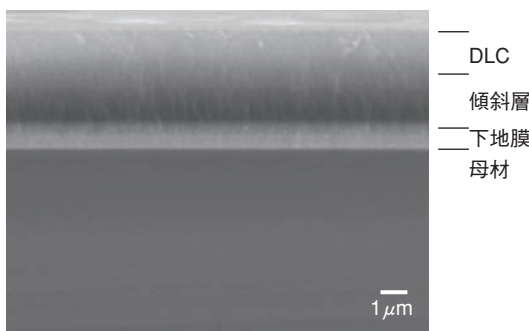


図7. DLC膜の断面SEM観察

※6 ピンオンディスク法による低温DLC膜の摩擦摩耗試験結果を図11に示す。長時間の摩擦摩耗試験においてもDLC膜の損傷が小さく、摩擦係数は0.1程度を保っている。

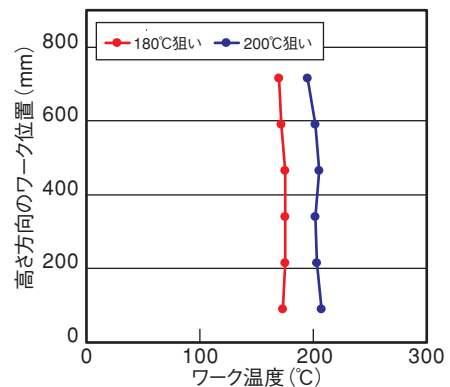


図8. 温度分布

ワーク温度は自公転セットした、SUJ2鋼のなまり具合により推定

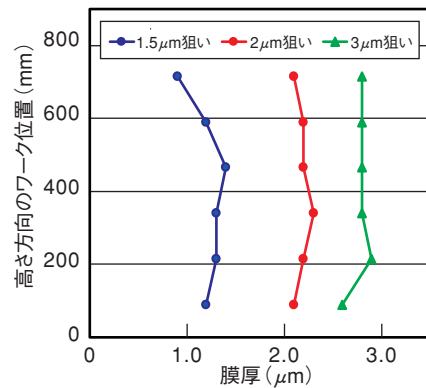


図9. 膜厚分布

試験片 (NACHI HSSテストピース) は自公転セットにて処理

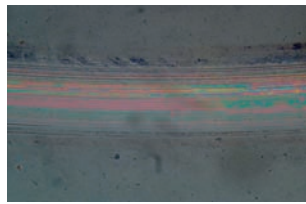


(1) 未処理品

(2) 低温DLC膜 (膜厚2 μm)

	未処理品	低温DLC
Ra (μm)	0.07	0.07
Ry (μm)	0.37	0.51
Rz (μm)	0.27	0.40

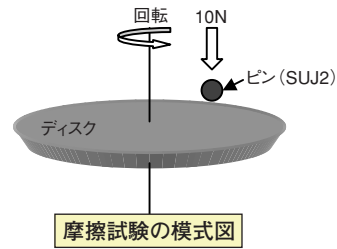
図10. 低温DLC膜の表面粗さ



試験後の摺動部観察写真

ピンオンディスク摩擦試験条件

- ・装置 : CSEM Tribometer
- ・回転数 : 500rpm
- ・回転半径 : 7.5mm
- ・周速 : 3.9m/s
- ・荷重 : 10N
- ・ディスク材料 : SKH51+表面処理
- ・ピン素材 : SUJ2 6φ



摩擦試験の模式図

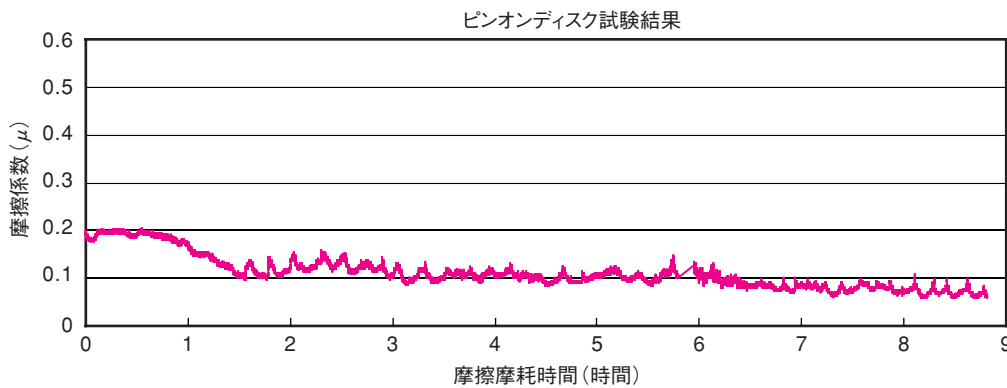
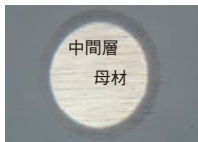



図11. 低温DLC膜の摩擦摩耗試験結果

DLCは、すでに述べたように優れたトライボロジー特性を有するが、とくに無潤滑環境下で効果を発揮する。しかし、油中などの潤滑環境では若干金属を含有した^{※7}Me-DLCの方が有効であるといわれている。本装置では、スパッタリング法を採用しているため、一般的なCVD法では難しいMe-DLCを容易に成膜することができ、その組成制御も可能である。また、Me-DLCは金属を含有しているため、その割合によって導電性も有するようになるので、摺動部の摩擦による静電気を逃がすなどの別の応用も期待される。

本装置によるDLC膜の特長を表2にまとめた。比較のため、NACHIの溶解法^{※8}で成膜したDLC膜もあわせて示してある。今回紹介したDLC膜は、汎用機械構造用鋼や軸受鋼などで作られた、低荷重摺動部品用に開発した、処理温度重視の軟質DLC膜である。これに対して溶解法によるDLC膜は、切削工具用途の密着性重視のセラミック膜を中間層にもつ硬質DLC膜という位置づけで、用途に合わせて使い分けしている。

表2. DLC膜の特長

	膜厚 (μm)	硬さHplast (N/mm ²)	密着力 (N)	摩擦係数	処理温度 (°C)	膜構成
スパッタリング法による低温処理DLC膜	1~4	13000 } 15000	10~30	0.1~0.15	180~280	 中間層を介して低温DLCを成膜
溶解法による低温処理DLC膜	2~3	28000 } 30000	30~60	0.08~0.15	450~500	 硬質膜を下地膜として密着性を重視

(※膜表面をボールで削って上から視察)

5. さらに新分野へ

低温処理を目的として開発したスパッタリング装置とその応用例として低温DLC膜を紹介した。

本テーマの開発により、処理温度180℃を実現できたことでDLC膜の応用の幅が大きく膨らみ、適応範囲がさらに拡大することが見込まれる。

今後とも、成膜速度、密着性、膜硬さなどについて、継続して改善を続けていく予定であり、これまで応用が考えられていた分野と異なる、新しい分野への飛躍を期待している。

用語解説

※1 トライボロジー特性

相対運動下で相互作用を及ぼしあう表面に現れる特性（主に『摩擦』、『摩耗』、『潤滑』）およびそれに関連した特性。

※2 DLC

Diamond Like Carbonの略。結晶構造を持つダイヤモンドに対して、明瞭な結晶構造を持たない炭素同素体。

※3 HCD方式

中空陰極放電（Hollow Cathode Discharge）。

※4 マグネトロンスパッタリング法

ターゲット背面に磁石を配して行なうスパッタ蒸発法。磁石により電子の飛行距離が長くなり、気体分子との衝突によるイオン生成割合が増え、結果として蒸発速度が高くなる。

※5 スパッタ率

一つのイオンがターゲットに入射した場合にはじき出される原子数の平均。

※6 ピンオンディスク試験

回転する円盤状試験片にピン試験片を押し付けて、摩擦係数や損傷状態を評価する試験。

※7 Me-DLC

膜中に金属を添加したDLC膜。

※8 溶解法

HCD放電銃から放出されるプラズマにより、金属を溶解・蒸発させ、プラズマ中で反応ガスを金属蒸気と反応させて成膜する方法。

参考文献

- 1) 神田一隆ほか
特許第3439993号
- 2) 橋本孝信ほか
特許第3544907号

関連記事

園部 勝：「DLC膜の切削工具への適用」
NACHI-BUSINESS news Vol.1 A1、December/2003