

## ノート

# 高出力インパルスマグネトロンスパッタリング (HiPIMS) 法 — 成膜技術の特徴とその適用 —

渡部 友太郎<sup>\*1)</sup> 清水 徹英<sup>\*2)</sup> 寺西 義一<sup>\*3)</sup> 長坂 浩志<sup>\*3)</sup>

## High Power Impulse Magnetron Sputtering (HiPIMS) method — Its properties and applications of coating technology —

Tomotaro Watanabe<sup>\*1)</sup>, Tetsuhide Shimizu<sup>\*2)</sup>, Yoshikazu Teranishi<sup>\*3)</sup>, Hiroshi Nagasaka<sup>\*3)</sup>

キーワード：スパッタリング, インパルス, HiPIMS

Keywords : Sputtering, Impulse, HiPIMS

### 1. はじめに

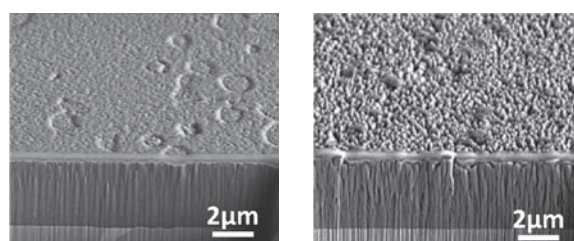
精密金型は、表面の摩耗を防ぎ、寿命を延ばすために金型表面に硬質皮膜を成膜する場合がある。近年、精密金型成形品の製品精度に対する要求が高くなるにつれ、従来の成膜法と比較して、金型そのものの寸法が成膜中に狂いにくい低温成膜法が求められている。

これらの要求に対して、スパッタリング法の中でもコンデンサーによって充電した電力を瞬間的に投入し、大出力とすることで、成膜材料(ターゲット材)を効率よくイオン化することが可能な高出力インパルスマグネトロンスパッタリング法 (High Power Impulse Magnetron Sputtering : 以下 HiPIMS 法) が提案され、近年欧州を中心に盛んに研究開発が行われている<sup>(1)</sup>。本稿では、従来法より平滑で付き回りが良く、低温成膜の可能性がある HiPIMS 法について、検討対象皮膜をアルミ合金ダイカスト金型や SUS プレス金型などへの皮膜として使用されている TiAlN として、その成膜パラメーターの皮膜へ及ぼす影響を検証し<sup>(2)</sup>、精密金型への応用の可能性について検討した。

### 2. HiPIMS法の原理

HiPIMS 法はスパッタリング法の低温成膜が可能な特長を維持しつつ、高密度プラズマによりイオン化率を向上し、高い密着性や付き回りを實現する成膜法である。一般的なスパッタリング法である直流マグネトロンスパッタリング (DCMS) 法で、単純に大電力を加える方法ではターゲットが熱負荷に耐えられない、製品温度が上昇するなどの弊害が生じる。そこで、HiPIMS 法では直流電源装置によりコンデンサーに充電を行い、溜めた電荷を一気に電極となるターゲット材に流し、瞬間的に「大電力」をかけるこ

とで、高密度のプラズマを形成し、ターゲット材のイオン化率を向上させている。ターゲット材粒子は高密度プラズマによりイオン化し、反応性が高くなり、緻密で密着性の高い、平滑で付き回りの良い成膜が期待される。図1は、同じ成膜装置で、平均ターゲット電力など成膜法以外の成膜パラメーターを同一として、HiPIMS 法と DCMS 法による TiAlN 皮膜を比較したものである。DCMS 法では断面部に大きな柱状の構造が観察され、皮膜表面も柱状構造の頭部が並んだような構造となっているのに対し、HiPIMS 法ではイオン化率の高い成膜が繰り返されるため、それぞれの構造が小さく緻密になっていることが確認できた。超微小押し込み硬さ試験の結果も、DCMS 法における 3,766 MPa に対して HiPIMS 法では 32,900 MPa と大きな差を示し、パルス電流による成膜効果を確認できた。



HiPIMS 法 DCMS 法  
図1. 成膜法による皮膜の構造の違い

ここで、コンデンサーの容量は一定であり、充電された電子が全て放出される場合、回路が形成される時間が短ければ短い程、瞬間的に大電流が投入されることになる。

例えば、図2において、白色部の ON-OFF パターンでは ON 時間は灰色部の半分であり、コンデンサーに蓄えられた電荷を半分の時間で放出するため、理論的にはピーク電流値は灰色部の2倍となる。この ON-OFF 比を Duty 比とよぶ。一方、この ON-OFF を1サイクルとしたサイクル数をパルス周波数とよぶ。OFF の時間はコンデンサーを充電している時間である。HiPIMS 法では、これらの Duty 比、パ

事業名 平成25年度 基盤研究

\*1) 広報室

\*2) 首都大学東京

\*3) 表面技術グループ

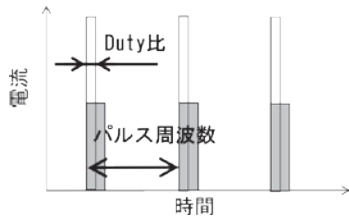


図2. HiPIMS法の成膜パラメーター

ルス周波数を中心に成膜パラメーターを制御し、プラズマ状態、ターゲット材のイオン化率を適切に制御することで、精密金型表面皮膜に適した、優れた機械的特性、高い密着性、付き回り性に加え、成膜中の温度上昇を抑えた低温成膜の可能性が期待されている。

### 3. HiPIMS法の特徴と低温成膜の可能性

本稿では、検討対象皮膜であるTiAlN成膜法として大きなシェアを占めるカソードアーク (CA) 法と比較してHiPIMS法の特性を検証した。また、成膜パラメーターと成膜温度との関連性を検証し、低温成膜の可能性について検討した。

**3.1 緻密性と平滑性** 皮膜の平滑性に与える成膜パラメーター (Duty比, パルス周波数など) の影響について、原子間力顕微鏡 (AFM) により検証した。その結果, Duty比への依存性が高く, Duty比が小さいほど平滑性が向上することが判明した。この結果は, 理論通りON時間が短くなることにより, ピーク電流値が高くなり, ターゲット材のイオン化率が高く反応性が高くなることに加え, 短時間のON時間内で一気に成膜が進むために, 成膜方向がランダムになることで, 緻密な皮膜構造となり, 平滑性が向上したと考える。この結果をもとに, Duty比5%としてHiPIMS法による皮膜とCA法による皮膜表面の比較を行った。両者の走査電子顕微鏡像を図3に示す。CA法では, ドロップレットと呼ばれる溶融粒状粒子による凹凸が目立つが, HiPIMS法ではほとんど見られない。さらに, HiPIMS法では大部分の表面が鏡面状平面となり, 優れた平滑性を示した。また, 超微小押込み硬さ試験機で測定した皮膜硬さは, HiPIMS法が54 GPa, CA法が56 GPaでほぼ同等であった。このことから, HiPIMS法では, CA法と比較して平滑性に優れ, 硬さは同等の皮膜を成膜できることが確認できた。

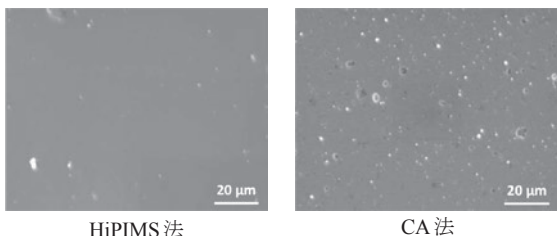
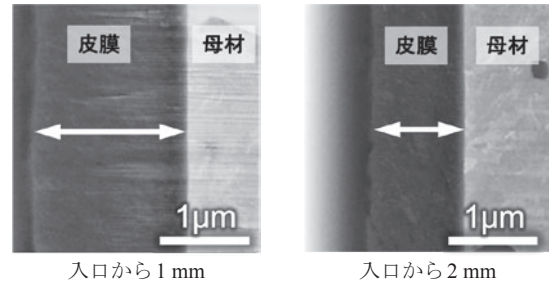


図3. HiPIMS法と従来法 (CA) による皮膜の平滑性の違い

**3.2 付き回り性** HiPIMS法はターゲット材のイオン化率が高いため, 製品にかかるバイアス電圧によって細孔内部まで引き込まれるイオン化したターゲット粒子が多く, 付き回り性が良いとされている。Ta膜について幅10 mm, 深さ20 mmのトレンチ溝で, 壁面, 底面ともに均

一に成膜されることなどが報告されている<sup>(3)</sup>。本研究は, 精密金型を対象として, 付き回り性評価は1 mm角の細孔を用いて行った。細孔壁面の断面を図4に示す。入口から1 mmの距離の皮膜厚さは約1.6 μm, 2 mmの距離では約1.0 μmとなり, 漸減するが, 1 mm角の細孔径の2倍深さでも, 十分な厚さで平滑な皮膜が形成され, 精密金型を対象とした場合に, HiPIMS法は十分な付き回り性があると考えられる。

図4. HiPIMS法による付き回り性<sup>(4)</sup>

**3.3 低温成膜** 低温成膜について検討するため, 試料表面に熱電対を貼付し, 各成膜パラメーターでの成膜中の温度変化を測定した。測定結果は, Duty比が小さく, パルス周波数が低くなるほど試料の温度上昇が抑制される傾向を示していた。これは, ターゲット電流がOFFの状態での熱放射により下降するためと考える。この成膜実験で成膜パラメーターを制御し, 成膜中温度を130℃前後 (125℃~134℃) で成膜可能であることを実証できた<sup>(5)</sup>。

### 4. まとめ

HiPIMS法は, 成膜パラメーターであるDuty比を小さくするほど, 特徴である大電力によるターゲット材の高イオン化率での成膜が可能であること, 従来法 (CA法) と比較して, 同等の硬さ, 優れた平滑性を持ち, 付き回り性の良い成膜が可能であることを確認した。さらに, パルス周波数を低くし, 成膜パラメーターを適切に設定することで, 130℃以下という低温成膜も行えることを確認した。これらの結果は, HiPIMS法が製品精度を向上することができる精密金型などに適した成膜技術となる可能性を示している。

(平成27年7月29日受付, 平成27年7月31日再受付)

### 文 献

- (1)清水徹英:「HiPIMS技術とドライコーティングへの適用」, 月刊トライボロジー, No.308, pp.42-44 (2013)
- (2)渡部友太郎ら:「大電流パルスマグネトロンスパッタリング法による成膜技術の開発」, 平成26年度東京都立産業技術研究センター研究成果発表会要旨集, p.38 (2014)
- (3)J.Alami et al.: “Ion-assisted physical vapor deposition for enhanced film properties on nonflat surfaces”, Journal of Vacuum Science & Technology, A23(2), pp.278-280 (2005)
- (4)T.Shimizu et al.: “HIPIMS deposition of TiAlN films on inner wall of micro-dies and its applicability in micro-sheet metal”, formingSurface & Coatings Technology, 250, pp.44-51 (2014)
- (5)T.Shimizu et al.: “Impact of pulse duration in high power impulse magnetron sputtering on the low-temperature growth of wurtzite phase (Ti,Al)N films with high hardness”, Thin Solid Films, 581, pp.39-47 (2015)