The 52nd International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films

大阪公立大学　大学院　工学研究科
教授　齊藤 丈靖
（2025 年度 国際会議等参加助成 AF-2025053-X1）

キーワード：気相成長，高エントロピー合金，硬質膜

１．開催日時

2026 年 5 月 19 日～2019 年 5 月 24 日

２．開催場所

San Diego, California, USA

３．国際会議報告

3・1　会議概要

2026 年 4 月 19 日から 4 月 24 日までの 6 日間、米国 カリフォルニア州のサンディエゴで開催された第 52 回 ICMCTF (The 52nd International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films) に参加した。ICMCTF はアメリカ真空学会 (American Vacuum Society, AVS) が主催する、真空を利用した各種製膜プロセスに関連した、硬質膜から生体応用までの広範にわたり適用される金属系薄膜の基礎物性からプロセスに関する著名な国際会議である。

本会議は主に Technical Symposia の 4 テーマと、持続可能性に特化した Topical Symposia の 3 テーマで開催された。50 以上のセクションがあり、世界中から約 500 名の参加者が集まった。

Technical Symposia

Processes（プロセス）:

・プラズマおよび気相蒸着プロセス（物理気相成長 (PVD) /化学気相成長 (CVD) など）
・Materials（材料）:
・保護コーティングおよび高温コーティング
・機能性薄膜および機能性表面
・コーティングと表面のトライボロジー（摩擦・摩耗・潤滑）および力学特性：
・バイオマテリアル医療デバイス、再生材料の表面工学（健康、食品、農業への応用）:

Characterization & Computation（評価・計算）:

・コーティングと薄膜における高度な評価、モデリング、およびデータサイエンス

Industry & Applications（産業・応用）:

・表面工学 – 応用研究および産業利用

Topical Symposia

Sustainable Surface Engineering（持続可能な表面工学）

・電池および水素アプリケーション向けコーティング
・再生可能エネルギー技術向けコーティングおよび表面
・表面工学における循環型戦略（リサイクルやサステナビリティ）

齊藤および同行学生（黒木）は本国際会議にて下記２件の発表を行った。

「Characteristics of TiBCN-based Thin Film with Different Mo Content by Direct Current Plasma Chemical Vapor Deposition」（口頭発表 齊藤）

「Effect of Si and B Incorporation in TiCN-based Thin Film on Physical Properties by Direct Current Plasma Chemical Vapor Deposition」（ポスター発表 同行学生（黒木））

3・2　研究背景

近年、高エントロピー合金 (HEA)の概念が金属系から窒化物、炭化物、ホウ化物などのセラミック化合物にも拡張されており、優れた硬度、熱安定性、酸化耐性を持つ次世代保護薄膜を開発する有望な戦略となっている。TiN、TiC、TiCN のような Ti 系薄膜は従来の保護薄膜として広く用いられてきた。これらの特性をさらに向上させるため、Si や B などの元素を添加する研究が進められている。さらに、Mo のような耐火金属を Ti 系システムに取り入れることで、固溶強化や酸化耐性の向上が期待されている。

これまでの硬質膜研究では主にイオンプレーティングやスパッタリングなどの PVD 法が用いられてきたが密着性などに課題がある。一方、CVD では 1000℃程度での熱 CVD が用いられるが、処理時間の長さや下地基材の変寸などの課題があり、双方の長所を兼ね備えた新しいプロセスが期待されている。プラズマ CVD 法は比較的低温（室温から 600℃程度）で処理されることが多いが、形状被覆性と密着性に課題があると言われている。原料ガスの供給方法や放電サイクルの制御により形状被覆性や物性の改善なども期待されるが、研究例は多くない。ここでは、TiBCN や TiCN 膜を元にして、成分添加による物性変化を調べ、今後の高エントロピー合金化を狙い、直流放電(DC)プラズマ CVD を用いて実験を行った。

3・3　教員による口頭発表

教員（齊藤）は、TiBCN 膜への Mo 添加効果に関する研究について口頭発表を行った。本研究では、TiBCN 薄膜に対する Mo 添加の役割や固溶強化、酸化耐性への影響を明らかにすることを目的とした。各試料は Si 基板および

WC–Co 基板上に DC プラズマ CVD 法を用いて製膜し、組成、相形成および微細構造を評価した。X 線光電子分光 (XPS) 分析の結果を図 1 に示す。Ti、B、C、N および Mo からなる 5 元素膜が得られていることを確認した。また、BBr_3流量の増加に伴い膜中の B 含有率が増加することが確認された。走査電子顕微鏡観察では、膜表面に顕著な欠陥や異常成長は認められず、均一な膜が形成されていた。また、断面観察からも基板上に連続的かつ均一に製膜されていることを確認した。一方、X 線回折 (XRD) では明瞭な回折ピークは観察されず、本研究で作製した薄膜はアモルファスあるいは極めて微細な結晶構造を有していることが示唆された。これらの結果を基に、Mo 添加が薄膜特性に及ぼす影響について検討するとともに、将来的な高エントロピー設計硬質膜への展開について議論した。

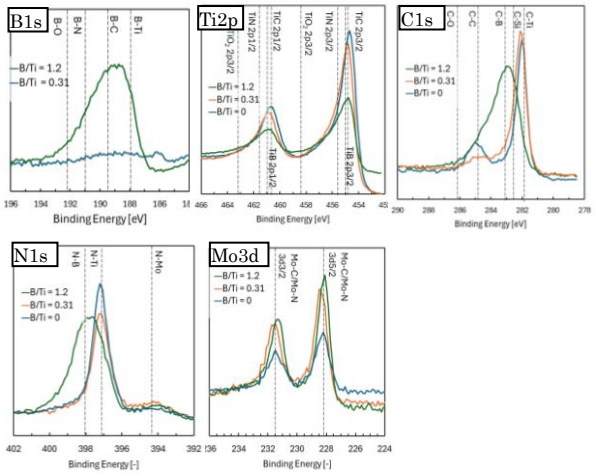


図 1　TiBCN-Mo 膜の XPS スペクトル
(a) B1s, (b) Ti2p, (c) C1s, (d) N1s, (e) Mo3d



図 2　発表の様子

3・4　同行学生によるポスター発表

同行学生（黒木）は、TiCN 膜への Si および B 添加が膜特性に及ぼす影響に関する研究についてポスター発表を行った。本研究では、TiSiCN 薄膜および TiBCN 薄膜を DC プラズマ CVD 法により作製し、Si 添加および B 添加が膜組成、結晶構造、微細構造ならびに機械的特性に及ぼす影響を調査した。XPS 分析の結果、TiSiCN 薄膜および TiBCN 薄膜において、それぞれ添加元素を含む 4 元素膜が形成されていることを確認した。また、Si は主に Si-O-C 結合として、B は窒化物および炭化物として膜中に存在していることが示唆された。XRD 測定では、低 Si 流量域・低 B 流量域において TiC/TiN(200)に由来すると考えられる回折ピークが確認されたが、高添加量域では明瞭な回折ピークは観察されなかった。硬度評価の結果、TiSiCN 薄膜では Si/Ti 比が 0.26 の条件で最大 2367 DHT、TiBCN 薄膜では B/Ti 比が 1.5 の条件で最大 2775 DHT を示した。これらの結果から、Si および B 添加により膜組成や結晶構造が変化し、硬質膜特性の向上に寄与することが示唆された。

3・5　国際会議参加成果

本国際会議では、各国の研究者との活発な議論を通じて、多元素添加 Ti 系硬質膜の有効性や今後の課題について多くの知見を得ることができた。特に、遷移金属元素の添加による硬質膜特性の制御や耐酸化性向上に関する最新の研究動向について情報交換を行い、本研究の位置づけを国際的な視点から確認する貴重な機会となった。また、発表内容に対して得られた意見や助言は、今後の高エントロピー合金硬質膜の組成設計および製膜プロセスの最適化に向けた重要な指針となった。今回の助成により国際会議へ参加し研究成果を発信できたことは、研究の発展と国際的な研究交流の促進に大きく寄与した。

謝　辞

本会議に参加するに当たり、助成を頂きました公益財団法人天田財団には厚く御礼申し上げます。また、XPS 測定は奈良先端奈良先端科学技術大学院大学ナノテクノロジープラットフォームにご支援頂きました。