

ステンレス鋼へのイオンビーム照射による窒化炭素層の機械的特性

Mechanical properties of carbon nitride layers formed by ion beam irradiation on stainless steel

山崎 蒼太¹⁾

指導教員 鷹野 一朗¹⁾

¹⁾工学院大学 工学部電気電子工学科 電気電子機能材料研究室

キーワード：硬質材料，イオンビーム照射， β -C₃N₄

1. 緒言

現代社会では様々な電気製品の精密化が進んでおり、それらを機械加工する製造装置の精度も重要な要素となってきている。工業分野で一般的に利用されている機械加工機の切削工具には、ドライプロセスなどで金属化合物としてつくられる硬質薄膜が使われている。利用範囲が限定的ではあるものの高硬度を示す材料として、超硬質材料と呼ばれるダイヤモンド、炭化ホウ素、立方晶窒化ホウ素などがある。これらの超硬質材料は炭素、窒素、ホウ素の3元素で構成されており、アモルファスであっても高硬度、高熱伝導率、高抵抗、化学的に安定、可視域・赤外域双方で透明であるという性質を持つ。1989年にカリフォルニア大学の Liu と Cohen は第一原理擬ポテンシャル計算(局所密度近似)の結果、 β -Si₄の Si を C に置き換えた六方晶構造を持つ物質を提案した。この β -C₃N₄(六方晶窒化炭素)の体積弾性率は 427 GPa と算出され、ダイヤモンドの体積弾性率の実測値 442 GPa に迫る値であった¹⁾。自然界に存在しない共有結合性の C-N 固体化合物については、高温高圧環境下でのプラズマやレーザーを用いた各種気相反応を利用した研究が進められている。しかしながら、これまでに報告された研究はすべて低硬度である。

本研究では、存在が提唱された窒化炭素(C₃N₄)に注目し真空環境下にて金属基板に対し、N₂⁺イオンビーム、C⁺イオンビームを別々に照射することで基板表層での微細粒子として β -C₃N₄を形成することを目指す。その前段階として、本発表では

N₂⁺イオン注入をステンレス鋼(304SS)に行い、硬さと摩擦係数を調査する。

2. 実験方法

2.1 イオン注入方法

試料基板としてステンレス鋼(304SS)を用いた。表面酸化膜(不動態層)を除去する目的で、基板表面を研磨剤で処理した。さらに、エタノールで超音波洗浄を行った後、試料基板をチャンバー内の試料ホルダーに取り付けた。図1のマルチプロセスコーティング装置概略図に示すように、N₂⁺イオンはフリーマン型と呼ばれるイオン源でN₂ガスをイオン化し、10kVの電界を印加した電極で加速して45度の質量分析器で分析し照射ビームとした。本実験のイオン注入条件を表1に示す。チャンバー内を 8.6×10^{-5} Paまで排気後、加速電圧10 kVでN₂⁺イオンビームを10, 20, 30 min間照射した。なお、電流密度は15 μA/cm²とした。

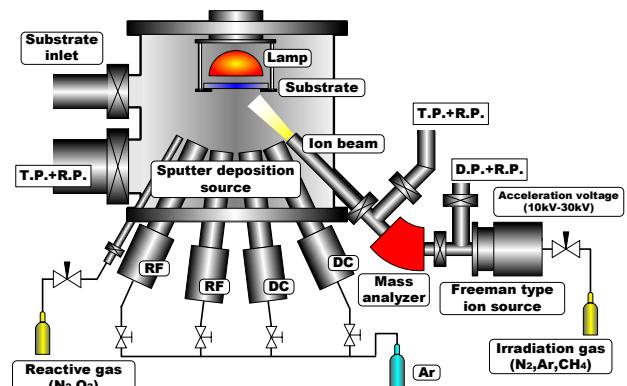


図1 マルチプロセスコーティング装置概略図

表1 イオン注入条件

基板材料	ステンレス鋼(304SS)
照射イオン	N_2^+
到達圧力 [Pa]	8.6×10^{-5}
加速電圧 [kV]	10
電流密度 [$\mu A/cm^2$]	15
照射時間 [min]	10, 20, 30

2.2 評価方法

摩擦係数は ball-On-Disk 摩擦摩耗試験機 (TYPE20, 新東科学(株)) によって測定を行った。

測定条件は、相手材に SUJ2 球 (高炭素クロム軸受鋼鋼材) を用い、摺動回転直径 10 mm, 垂直荷重 0.98 N, 回転数 135 rpm, 測定時間を 10 min とした。

ナノインデンテーション試験機 (DUH-W2001, (株)島津製作所) による硬さ測定は、負荷-除荷試験で行いインデンターはダイヤモンドバーコビッチ圧子 (三角錐形状), 垂直荷重は 1~100 mN で行い保持時間は 5 sec とした。

3. 実験結果

図1に摩擦係数の測定結果を示す。摺動時間に対する摩擦係数の変化を表している。

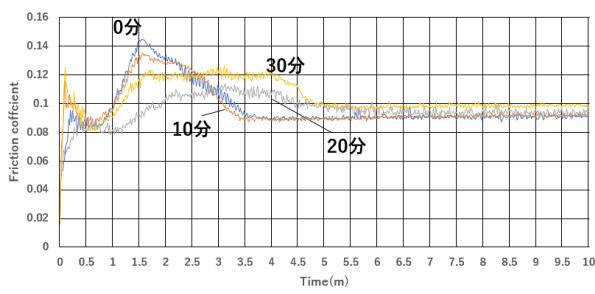


図2 N_2^+ イオンビームを照射したステンレス基板の摩擦特性

初期摩擦係数においては、照射時間による違いが観測され、30 min 間 N_2^+ イオン照射した基板の摩擦係数が最も高く、20 min 間 N_2^+ イオン照射した基板が最も低くなつた。表面付近における窒素量に起因していると推測できる。また、摩擦時間 1.0 min から 2.5 min では未照射基板の摩擦係数が最も高く、窒素注入の効果が現れていると考えられる。さらに、摩擦時間 5 min 以降の一定になつた摩擦

係数にも若干の違いが現れ、30 min 間 N_2^+ イオン照射した試料の摩擦係数が高く、未照射は低かった。

図2に負荷荷重を変えたナノインデンテーション硬さを示す。極表面では未照射が最も高い値を示しており、不動態層の影響と考えられる。また、 N_2^+ イオン照射により極表面の硬度はいずれも低下しており、照射時間 20 min が最も低い値となつた。試験荷重全域では、30 min 照射が高い値を示しており、照射量が多いため内部まで N が拡散していることが考えられる。

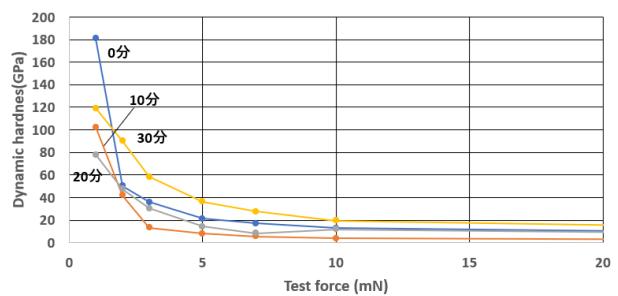


図3 N_2^+ イオンビームを照射したステンレス基板の硬度

4. まとめ

本実験では、ステンレス鋼の酸化被膜層を除去した基板に対して、 N_2^+ イオンビームを照射して表面の機械的特性を観察した。通常、金属の窒化では摩擦係数の低下や硬さの上昇が確認されるが、初期摩擦係数や表面の硬さには明確な違いがみられなかった。今後、目的に述べたように、 N_2^+ イオンに加え C^+ イオンを照射することで、 C_3N_4 の形成と機械的特性の改善につなげたい。

・謝辞

本研究を行うにあたり、工学院大学工学部電気電子工学科の榎本晋氏(2021 年度卒), 田中聖也氏(2019 年度卒)の卒業論文を参考にさせていただきました。ここに感謝いたします。

参考文献

- 1)A.Y.Liu and M.L. Cohen, Prediction of new low compressibility solids, SCIENCE, 1989, vol245, issue4920, pp.841-842