

審査の結果の要旨

氏名 石川 功

一般的に DLC 膜と呼ばれる非晶質硬質炭素膜（以下、a-C:H 膜）は、優れたトライボロジー特性を有していることから、近年実用化が進んでいる。一方、a-C:H 膜は、多種多様な膜が存在しており、産業界にて応用の際、その硬さを目安にして膜を選択しているのが現状である。しかし、硬さが同じの膜でも成膜手法、組成により、膜の表面特性は大きく異なり、その結果、異なる摩擦特性を示すことが予測される。このことから、膜固有の特性である内部構造の観点から膜の摩擦特性を議論することが、その摩擦メカニズムを解明する上でもっとも重要であると考えられる。特に、大気中における a-C:H 膜の摩擦特性はその表面に吸着する水分子層に依存するため、水分子吸着に対する a-C:H 膜の内部構造の影響を明らかにすることが必要である。そこで、本研究は、a-C:H 膜の内部構造をラマン分光分析により明らかにした上で、大気中における a-C:H 膜の摩擦メカニズムを、内部構造と水分子吸着特性の観点で明らかにすることを目的として研究を行った。

本論文は 7 章より構成されている。

「第 1 章 研究の背景と目的」では、非晶質硬質炭素 (Hydrogenated amorphous carbon; a-C:H) 膜の内部構造の多様性、機械的特性、摩擦特性について述べている。特に大気中における a-C:H 膜の摩擦特性の支配因子である水分子の吸着性に関する研究の現状、研究の目的を述べている。

「第 2 章 a-C:H 膜の作成とその特性評価」では、本研究で用いる a-C:H 膜の作成手法、およびラマン分光分析、硬さ、膜組成の評価から作成した a-C:H 膜の内部構造を分類した結果を述べている。

「第 3 章 a-C:H 膜上の水分子吸着特性」では、a-C:H 膜の水分子吸着量が膜の内部構造によって変化すること、多分子吸着モデル (BET モデルおよび FHH モデル) により水分子吸着特性が説明できること、a-C:H 膜表面の酸化度合と水分子吸着量が強い相関があることについて述べている。さらに、吸着モデルのパラメータを用いて、吸着水分子の構造が相対湿度 20 - 35% の領域で ice-like 構造から liquid-like 構造に遷移することを明らかにした結果を述べている。

「第4章 a-C:H膜と鋼球の摩擦実験」では、大気中における a-C:H膜と鋼球間の摩擦特性を a-C:H膜の内部構造の観点から論じている。低湿度（10% RH）と高湿度（50, 75% RH）環境下において、水分子吸着量が摩擦特性に与える影響について述べている。低湿度においては a-C:H膜の機械的特性が摩擦特性を支配し、機械的特性が高い a-C:H膜は相手材を摩耗させることで、摩擦特性が低下することを示した。高湿度においては、摩擦界面に発生する酸化鉄が摩擦係数を増加させる一方、a-C:H膜上の水分子が境界潤滑膜として働き、摩擦係数低下させることを示し、これらのトレードオフによって a-C:H膜の摩擦特性が決まることについて述べている。

「第5章 a-C:H膜同士の摩擦実験」では、鋼球に a-C:Hを成膜することで、同じ内部構造を有する a-C:H膜同士の摩擦特性について述べている。低湿度では機械的特性、高湿度では水分子吸着特性が摩擦特性を支配することを明らかにした。特に高湿度では、a-C:H膜表面に吸着する ice-like 構造の水分子層の厚さが摩擦特性に大きな影響を与え、その厚さが大きくなるにつれ、摩擦係数が増加することを明らかにした。

「第6章 a-C:H膜の摩擦特性に関する考察」では第4章、第5章から得られた結果を比較・考察した結果を述べている。さらに、その知見をもとに、a-C:H膜間の摩擦において摩擦ペアの内部構造の組み合わせにより、各相対湿度領域で低摩擦を示す最適な a-C:H膜ペアが存在することを示した。非活性環境下では水素含有量が多い a-C:H膜のペアが低摩擦に有効であるが、相対湿度が高くなるにつれ、表面が酸化しにくいグラファイトライクな構造を有する a-C:H膜のペアがもっとも低摩擦性に有効であることを明らかにした。

「第7章 結論」では本論文の総括を述べている。

以上要するに、本研究により大気環境下における a-C:H膜の摩擦特性は、内部構造および内部構造に起因する水分子の吸着特性に強く依存することが明らかになった。内部構造により、各相対湿度における表面に吸着する水分子の構造や吸着量が異なり、a-C:H膜の摩擦特性に大きな影響を与えることを明らかにした。その結果、各相対湿度において低摩擦を示す最適な、内部構造が異なる a-C:H膜ペアが存在することを明らかにした。大気環境における摩擦特性の研究は数多くあるが、摩擦係数に大きなばらつきが見られ、またその摩擦メカニズムについては明らかになっていない。本研究結果は a-C:H膜の内部構造とその水分子吸着特性に着目することで a-C:H膜の摩擦特性のメカニズムを解明したとともに、最適な摩擦ペアを提案し、a-C:H膜の更なる低摩擦を実現させた。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。