

## 審査の結果の要旨

論文名 : Structural and Environmental Dependence of Superlubricity in Ion Vapor Deposited Hydrogenated Amorphous Carbon Films (イオン化蒸着法により作製した水素化アモルファス炭素膜の超潤滑特性とその構造および環境依存性)

氏名 陳 新春(Chen Xinchun)

近年、ダイヤモンドライクカーボン (DLC) の研究が進み、特に低い摩擦係数を示すことが着目されてきた。ただし、これまでの研究は真空下、窒素雰囲気下、水素雰囲気下など個別の条件下に限られており、実用化のためには一般的使用下の、たとえば大気圧雰囲気下で低い摩擦係数を示す DLC が求められている。また、これまでの研究は DLC/DLC 間の摩擦に限られていたが、鉄鋼などの工業材料に対しても低摩擦を示す DLC が求められている。本研究はこれらの要求に応えるために、DLC に Si を添加し、成膜条件を工夫することにより、大気圧下かつ高湿度雰囲気下で、軸受鋼、ステンレス、セラミックスを相手材として、超潤滑性 (0.01 以下) を示す DLC の成膜に関する実験的研究を行い、また、超潤滑性を示すメカニズムについて研究を行ったものである。今やエネルギー損失の低い機械システムが求められているが、その摩擦・潤滑部分の実現において、本研究は多くの示唆を与えるものである。

「Chapter 1 Introduction」では、DLC 材料のトライボロジー特性を概説し、DLC の超潤滑性に関するこれまでの研究例を紹介すると共にその問題点および、解決すべき課題を議論している。そして、本研究の目的として、これまでの DLC にはなかった、広い条件のなかで超潤滑性を示す DLC を開発することを述べている。

「Chapter 2 Growth Mechanism of Ultrasooth a-C:H and a-C:H:Si Films」では、本研究で用いる成膜装置 (イオン化蒸着装置) について触れ、成膜した DLC が超潤滑性を示すためには、表面粗さが 0.1nm 以下の supersmooth を示すことが必要であり、そのために行った成膜条件の検討について述べている。また、成膜時のバイアス電圧を 0.25kV から 3.5kV まで変化させたサンプルを作成して、これを X 線光電子分光分析(XPS)および弾性反跳検出法(ERDA)によって計測し、DLC の微小構造の変化および水素含有量が低下していく様子を示している。

「Chapter 3 Superlow Friction of a-C:H Film: Some Core Factors」では、成膜した DLC の相手材として軸受鋼、セラミックスを用いても、窒素ガス雰囲気下で試験をした場合に、表面が超平滑性を有し、かつ水素含有量の高い DLC を成膜することで摩擦係数が 0.01 を

下回ることを示した。

「Chapter 4 Suppression of Moisture Sensitivity of Friction by Si Incorporation」では、DLC成膜のソースガスとしてテトラメチルシラン(TMS)およびトルエンを用いて、Si-DLCを成膜する手法について述べ、Siを添加することにより、大気圧下でしかも40%の高相対湿度の条件でも0.02の低摩擦を示すことを示した。また、Si含有量は10%程度が最適であることを示した。

「Chapter 5 Hydrogen Dependence of Superlubricity of a-C:H:Si Films in Various」では、Chapter 4で得た最適材料(Si含有量が10%程度)に対して、さらに水素含有量を変化させて、窒素ガス、水素ガス、大気圧のもとで摩擦係数を測定し、水素含有量が約32%のときには、すべての雰囲気でも最も低い摩擦係数を示すことを明らかにし、これを”Superlubricity in multi-environment”と命名した。さらに、この材料は大気圧下で40%の高湿度下でも超潤滑を示すことを示した。高湿度での超潤滑の実現は、個体間に生成される水分子層(低摩擦相)が大きく寄与するためであることを示し、そして、本研究が基になって、分子動力学法で水分子相潤滑が進んでいることを示している。

「Chapter 6 Toward Multi-Environment and Near-Frictionless Lubricating Interface by Polymer-Like a-C:H:Si Films」では、高含有水素DLCがあらゆる環境で超潤滑を示すメカニズムについて言及し、ラマン分光分析、TOF-SIMS分光分析の結果を基にして、表面が2層構造であること、超平滑表面であること、そして水素分子を閉じ込める微小空洞(ナノポア)が表面に存在することが原因であるとしている。

「Chapter 7 Conclusion」では、本論文の総括と将来への展望を述べている。

以上まとめると、本研究においては、これまでは限られた条件でしか発生しなかった超潤滑を、窒素、水素、高湿度大気圧などの条件でも生ずることを示した。また、そのメカニズムについて考察して、シリコン、水素そして炭素からなるSi-DLCの構造をモデル化した。この結果は、今後超潤滑を目的とするDLC被膜を設計するうえで活用されることが期待できる。

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。