

# 低地球軌道で使用可能な固体潤滑剤の開発

兵庫県立大学 高度産業科学技術研究所

神田 一浩、貴傳名 健悟、今井 亮、高松 大樹、田中 祥太郎

神戸大学 工学部 田川 雅人、横田 久美子

現代社会では、通信・放送分野、測位分野、リモートセンシング分野など多くの分野において、人工衛星利用の重要性が増大しており、今後益々その依存性を高めていくことが確実視される。このような目的で利用されている人工衛星は低地球軌道と呼ばれている地上数百 km の領域で活動を行っている。低地球軌道では、高真空、軟 X 線、中性原子と言った地上とは異なる様々な耐環境性能が要求される。大気環境下では、潤滑剤として油脂が通常用いられるが、低地球軌道領域においては、油脂は蒸発・凍結してしまうために用いることができず、固体潤滑剤を利用する必要がある。ダイヤモンドライクカーボン (DLC) 膜として知られるアモルファス状炭素膜は、平坦・低摩擦係数という特性を持ち、水素含有率 40%以上では真空中でも良好な潤滑剤と機能することが報告されていたが、低地球軌道領域の主成分である原子状酸素や軟 X 線に耐性がないことを我々のグループの研究が報告し、その劣化過程を明らかにしている。

この研究を受けて我々のグループでは DLC 膜に軟 X 線や原子状酸素に対する耐性を持たせることを検討し、耐酸化性を持つ Si を少量添加した DLC 膜を用いて、耐性を評価した。軟 X 線照射は低地球軌道領域で問題になる 1000eV 以下の白色光の照射が行えるニュースバル BL06 で行い、原子状酸素照射は神戸大学のレーザーデトネーション装置を用いた。Si 含有水素化 DLC 膜は軟 X 線や原子状酸素照射後も膜厚が変化せず、軟 X 線や原子状酸素照射に耐性があることをあきらかにした。また、照射後も水素含有率が 40%以上に保たれることを見出し、真空中で固体潤滑剤として使用できることを明らかにした。さらに、耐性のメカニズムについて調査し、膜表面において炭素の存在比が減少し、シリコン・酸素の組成が増加していること、さらに表面近傍に置いて C-C 結合から C-Si 結合に、Si-C 結合から Si-O 結合に局所構造が変化していることを突き止め、表面に炭素減少してシリコンが主成分となる層が生成していることを明らかにした。このシリコン主成分層が形成されることにより膜内部が保護されると結論される。さらに形成された層は膜表面から約 5 nm 程度と非常に薄いことを見出した。5nm 厚の層は固体潤滑材として作用するときは摩擦により消失し、摩擦特性に関与しないことが期待できる。以上のように、Si 含有 DLC 膜が低地球軌道領域において油脂に代わる固体潤滑剤として利用できることを明らかとした。

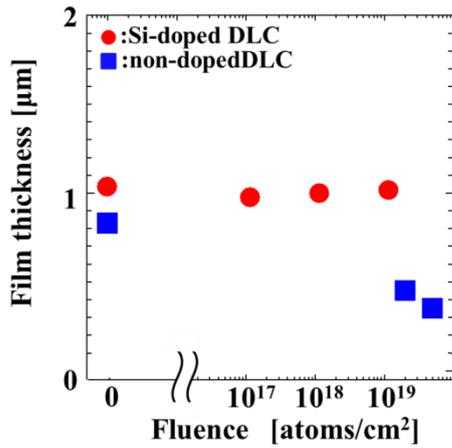


図1 DLC 膜の原子状酸素照射による膜厚変化。通常の DLC 膜は原子状酸素の照射により膜厚が減少するが、Si を添加した DLC 膜では膜厚の減少が見られない。

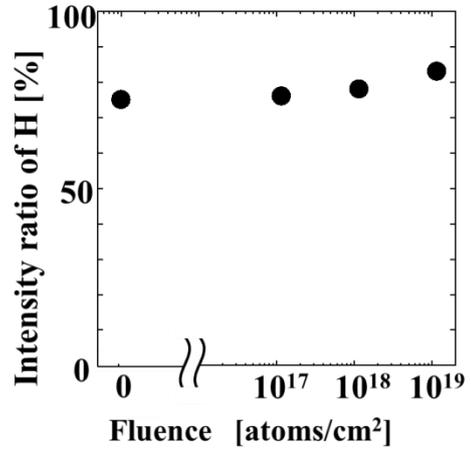


図2 Si-DLC 膜の原子状酸素照射による水素含有率の変化。原子状酸素の照射を行っても水素含有率が減少しないことから、真空中での潤滑剤の機能が保証される。

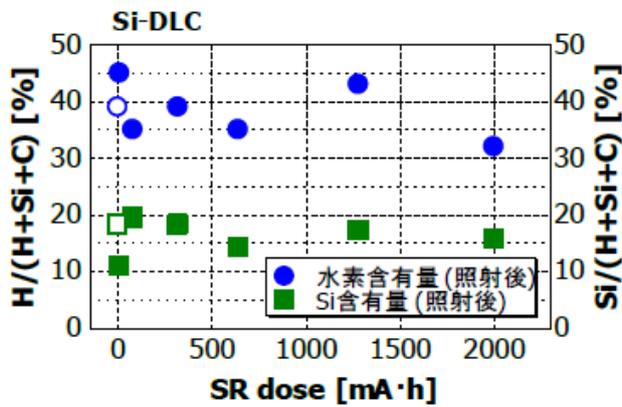


図3 Si-DLC 膜の軟X線照射による水素含有率、Si 含有率の変化。軟X線照射を行っても水素含有率、シリコン含有率とも変化しない。

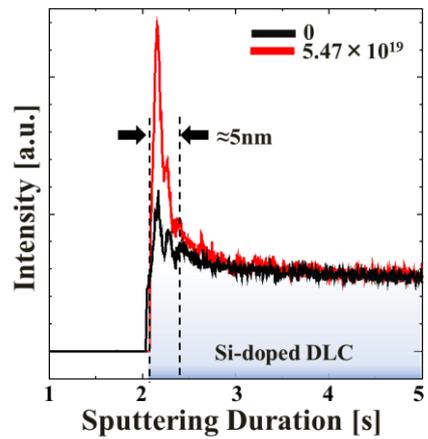


図4 Si 元素の深さ方向分布。原子状酸素照射により、表面から 5nm の範囲で Si の分布が増加している。酸素も同様であり、この酸化シリコン層が形成され、保護膜として作用していることが明らかとなった。