

平成 22 年 6 月 2 日現在

研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2008～2009  
 課題番号：20760102  
 研究課題名（和文） 自己潤滑性イオン注入層を利用するナノトライボフィルムの最適設計  
 研究課題名（英文） Optimum formation of nanotribofilm by the self-lubricated ion implanted layer  
 研究代表者  
 青木 才子（AOKI SAIKO）  
 東京工業大学・大学院理工学研究科・助教  
 研究者番号：30463053

## 研究成果の概要（和文）：

本研究では、鋼表面に形成されたリン・硫黄イオン注入層により摩擦面に形成するトライボフィルム（潤滑被膜）の摩擦特性および耐摩耗性の向上を目標とする。リンおよび硫黄イオンをそれぞれ注入した鋼試験片の摩擦摩耗特性を評価し、数種の表面分析を実施した。イオンドーズ量に比例して鋼表面のイオン注入量は増大し、それに伴い摩擦摩耗は低減する結果となり、リン・硫黄イオン注入により摩擦摩耗を低減できることが示された。

## 研究成果の概要（英文）：

The aim of the study is to improve the friction reduction effect and the antiwear performance of tribofilms, formed by lubricating additives, with ion implantations. Phosphorous and sulphur ions were respectively implanted into steel specimens, and then the friction measurement, surface analyses and observations were performed to elucidate the effect of ion implantations on the friction characteristics of steel lubricated by oil. Higher value of the ion doses provided higher concentration of the ions into the specimens, resulting in lower both friction coefficient and wear rate of the specimens. This study demonstrated ion implantations can reduce friction and wear.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学，設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：トライボロジー，潤滑油の物理化学，境界摩擦，表面改質

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 地球環境負荷低減への対策として、潤滑油の低リン化・低硫黄化が求められてい

る。低リン化・低硫黄化への試みとして、リン系・硫黄系添加剤の使用量を削減する動きや代替物質を使用する動きが強

まっている。しかし、低リン化・低硫黄化は達成できたとしても、摩擦摩耗の制御に対して十分に性能を発揮するとは限らない。リン・硫黄成分は摩擦面に潤滑被膜（トライボフィルム）を形成して摩擦摩耗の低減に重要な役割を果たしており、潤滑油の他にリン・硫黄成分を供給するプロセスを構築し摩擦摩耗の制御に最適なトライボフィルムを形成する必要がある。

(2) イオン注入法による表面の物理化学修飾に関して、T. Aizawa ら (Journal of American Ceramic Society, 85, 21, 2002) 及び A. Mitsuo ら (Material transaction, JIM, 40, 1361, 1999) が TiN 膜コーティングにおいて塩素イオン注入量を制御することにより低摩擦・耐摩耗効果が得られることを明らかにしている。これは、塩素注入による耐摩耗性被膜の形成と塩素が酸化触媒となり形成された酸化物の潤滑作用であり、前者はイオン注入層の自己潤滑性能、後者は化学的活性である表面が作用した結果である。

(3) リン・硫黄は塩素よりも耐荷重性能に優れた化学種であるため、イオン注入に応用することにより自己潤滑性能に優れた注入層が期待できる。同時に、リン・硫黄は反応性・吸着性にも優れており、添加剤分子が効果的に吸着・反応して、適所適材に摩擦を付与する高機能トライボフィルムの形成が望める。

## 2. 研究の目的

(1) 本研究はリン及び硫黄元素を鋼表面への物理化学修飾する手段としてイオン注入法に着目し、リン及び硫黄元素イオン注入層により低摩擦・高耐摩耗性を実現する最適なトライボフィルム（潤滑被膜）の形成を目標とする。

(2) 最適なイオン注入条件の確立を明らかにして、リンおよび硫黄元素イオン注入層を開発する。

(3) 摩擦摩耗試験により、リンおよび硫黄元素イオン注入層の自己潤滑性および潤滑下におけるトライボロジー特性（特に摩擦摩耗特性）を評価する。

(4) 各種イオン注入元素分布と元素量、潤滑剤分子の望ましい条件を提案し、イオン注入層と低リン・硫黄化潤滑油による潤滑プロセスの構築を目指す。

## 3. 研究の方法

(1) ビームライン型イオン注入装置を用いて、鋼基板へリン (P)、硫黄 (S) の各種イオンを注入する。

① 供試材には、高炭素クロム軸受鋼、ステンレス鋼等を用いた。注入前に鏡面研磨処理を実施した。

② イオン注入には半導体製造用のイオン注入装置を用いた。リンおよび硫黄をイオン化するために、イオン源において原料物質である固体の赤リン及び硫黄をそれぞれ気化・イオン化し、質量分離して1価のPイオンおよびSイオンのみを選択した。

③ 各種イオン注入後、鋼の表面特性を明らかにするために、X線光電子分光法 (XPS) による元素濃度の深さ方向分析を実施した。また、X線回折装置 (XRD) による結晶構造解析を実施した。さらに、イオン注入層の深さ（厚さ）を評価するために、分光エリプソメトリによる膜厚測定を実施した。

(2) 種々の摺動条件下における摩擦摩耗試験を実施して、各種イオン注入鋼のトライボロジー特性を評価する。

① 3Ball-on-Disk型摩擦試験機を使用して摩擦試験を実施した。試料油として、数種類の潤滑油を用いた。

② 共焦点レーザー顕微鏡を用いて、摩擦試験後の試験片表面の摩耗痕観察を実施した。また、顕微 FT-IR を用いて、摩擦試験後の試験片表面の摩耗痕に形成した化合物の化学構造分析を実施した。

## 4. 研究成果

(1) 各種イオン注入層の形成とその摩擦特性の調査により、イオン注入層の有無による摩擦挙動の差異を見出した。

① ビームライン型イオン注入装置により鋼基板への各種イオンを注入し、作製された各種イオン注入層に対して元素濃度の深さ方向分析および偏光膜厚解析を実施した結果、イオンドーズ量の増大に伴いイオンの侵入深さは増大することを明らかにした。(図1)

② 各種イオン注入層のトライボロジー特性の調査では、イオンの種類およびイオンドーズ量により摩擦摩耗特性に差異が生じることが示された。Pイオンドーズ量の増大に伴い、低速度領域において摩擦を低減し(図2)、さらに相手摩擦材の摩

耗量も低下した(図3)。これは、P イオン注入層の自己犠牲的に摩擦を防止する一方で、摩擦によりP イオン注入層からリン系トライボフィルムが形成したことが一因として考えられる。また、S イオン注入により摩擦摩耗の低減に寄与する結果も得られた。

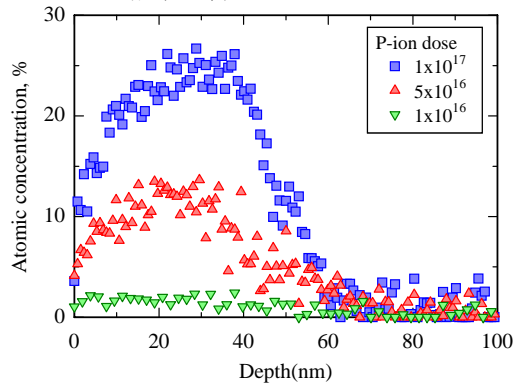


図1 リンイオン注入試験片におけるリンの深さ方向分析

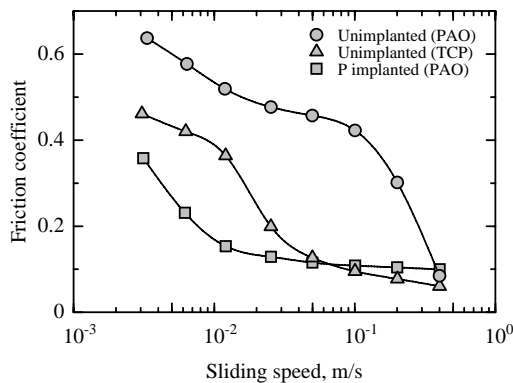


図2 リンイオン注入による摩擦低減効果

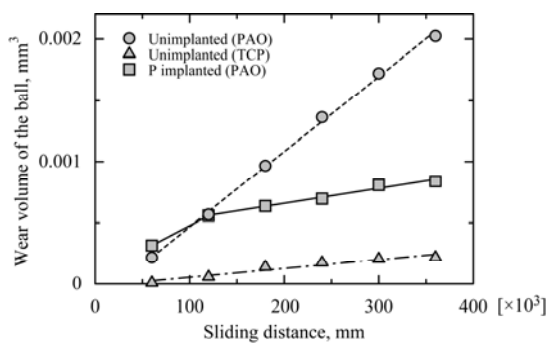


図3 リンイオン注入による摩耗率の低下

- (2) これまでイオン注入法は半導体産業で広く応用されているものの、機械要素のトライボロジー特性の改善としての利用には限りがあり、特にリンおよび硫黄をイオン注入に用いて摩擦低減に着目した研究はほぼ皆無である。本研究により、リンおよび硫黄イオン注入は摩擦低

減に効果的であることが明らかになった。従って、低リン化・低硫黄化を達成しつつ摩擦摩耗の制御を目指すために今後必要不可欠な技術であることが示された。

- (3) 本研究により、摩擦摩耗の制御に最適なイオンを選択し、イオン注入層を形成することにより自己潤滑性を付与することが出来ることが明らかになった。さらに、イオン注入表面における潤滑剤分子の物理化学的挙動を明らかにして摩擦挙動を解明することにより、イオン注入と潤滑油による複合プロセスは、機械要素の信頼性や耐久性を飛躍的に向上させ、地球環境問題の改善をもたらす技術となることが期待できる。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計7件)

1. Friction Characteristics of Phosphorous-containing Steel Surface Derived from Ion Implantation, Saiko Aoki, Yoshikazu Teranishi, Atsushi Mitsuo, Masahiro Kawaguchi, Kazuo, Morikawa, Akihito Suzuki, Masabumi Masuko, Journal of Tribology, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J, 2010, 査読有
2. Sliding Friction Characteristic of Steel Modified by Carbon Tetrafluoride Plasma Based Ion Implantation, Saiko Aoki, Masahiro Kawaguchi, Atsushi Mitsuo, Akihito Suzuki, Masabumi Masuko, Proceedings of 2nd European Conference on Tribology, B-CT-2(146), 2009, 査読無
3. Comparison of Sliding Friction and Wear Characteristics among ASTM D2 Tool Steels Implanted Different Elements by Plasma Ion Immersion Implantation, Saiko Aoki, Masahiro Kawaguchi, Yoshikazu Teranishi, Atsushi Mitsuo, Masabumi Masuko, "NETSU SHORI" (Journal of The Japan Society for Heat Treatment), 49, 153-156, 2009, 査読有

[学会発表] (計8件)

1. Tribological Properties of Steel Modified by Sulfur Ion Implantation, Saiko Aoki, Yoshikazu Teranishi, Masahiro Kawaguchi, Atsushi Mitsuo, 16th International Conference on

Surface Modification of Materials by Ion Beams, PB-50, 2009. 9. 15

2. Comparison of Friction characteristics of Phosphorous Ion Implanted Steels with Different Phosphorous Distribution Profiles, Saiko Aoki, Yoshikazu Teranishi, Masahiro Kawaguchi, Atsushi Mitsuo, Akihito Suzuki, Masabumi Masuko, World Tribology Congress 2009, C1-423, 2009. 9. 11
3. 鋼の境界摩擦特性に及ぼすリンイオン注入の影響, 青木才子, 寺西 義一, 川口雅弘, 三尾淳, 鈴木章仁, 益子正文, トライボロジー会議予稿集 名古屋 2008-9, 205-206, 2008. 9. 16

[その他]

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

青木 才子 (AOKI SAIKO)

東京工業大学・大学院理工学研究科・助教  
研究者番号：20760102

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし