

先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 実績報告書

本様式の内容は一般に公表されません

| | |
|----------------|----------------------------------|
| 研究課題名 | ナノ液体膜の微細パターンニングによる機能性薄膜潤滑システムの創成 |
| 研究機関・ 部局・職名 | 国立大学法人名古屋大学・大学院情報科学研究科・准教授 |
| 氏名 | 張 賀東 |

1. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

2. 収支の状況

(単位:円)

| | 交付決定額 | 交付を受けた額 | 利息等収入額 | 収入額合計 | 執行額 | 未執行額 | 既返還額 |
|------|-------------|-------------|--------|-------------|-------------|------|------|
| 直接経費 | 94,000,000 | 94,000,000 | 0 | 94,000,000 | 94,000,000 | 0 | 0 |
| 間接経費 | 28,200,000 | 28,200,000 | 0 | 28,200,000 | 28,200,000 | 0 | 0 |
| 合計 | 122,200,000 | 122,200,000 | 0 | 122,200,000 | 122,200,000 | 0 | 0 |

3. 執行額内訳

(単位:円)

| 費目 | 平成22年度 | 平成23年度 | 平成24年度 | 平成25年度 | 合計 |
|---------|-----------|------------|------------|------------|-------------|
| 物品費 | 2,604,000 | 4,205,833 | 47,858,404 | 12,934,534 | 67,602,771 |
| 旅費 | 0 | 141,660 | 1,288,460 | 640,170 | 2,070,290 |
| 謝金・人件費等 | 0 | 5,996,943 | 9,066,331 | 6,995,207 | 22,058,481 |
| その他 | 525 | 481,634 | 644,088 | 1,142,211 | 2,268,458 |
| 直接経費計 | 2,604,525 | 10,826,070 | 58,857,283 | 21,712,122 | 94,000,000 |
| 間接経費計 | 0 | 6,361,596 | 6,292,112 | 15,546,292 | 28,200,000 |
| 合計 | 2,604,525 | 17,187,666 | 65,149,395 | 37,258,414 | 122,200,000 |

4. 主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

| 物品名 | 仕様・型・性能等 | 数量 | 単価 (単位:円) | 金額 (単位:円) | 納入 年月日 | 設置研究機関名 |
|------------|--|----|--------------|--------------|------------|-----------------|
| レーザドップラ振動計 | 小野測器・ LV-1720A 変位出力 ボード含む | 1 | 2,604,000 | 2,604,000 | 2011/3/17 | 名古屋大学大学院情報科学研究科 |
| ソフトウェア | アクセルリス 社製 MS STARTER BUNDLE | 1 | 1,522,500 | 1,522,500 | 2011/6/3 | 名古屋大学大学院情報科学研究科 |
| 6インチレチクル | MASK-RAD-4 | 1 | 861,000 | 861,000 | 2011/10/24 | 名古屋大学大学院情報科学研究科 |
| ソフトウェア | 米国Accelrys 社製 MS Visualizer 外 | 1 | 9,043,440 | 9,043,440 | 2012/7/31 | 名古屋大学大学院情報科学研究科 |
| 6インチレチクル | MASK-RAD-5 | 1 | 892,500 | 892,500 | 2012/8/31 | 名古屋大学大学院情報科学研究科 |
| 走査型プローブ顕微鏡 | 米国アルカーナ 社製 Dimension Icon SPMシステム | 1 | 27,675,816 | 27,675,816 | 2012/9/7 | 名古屋大学大学院情報科学研究科 |
| レーザドップラ振動計 | 小野測器製 LV-1800 | 1 | 3,102,750 | 3,102,750 | 2012/11/22 | 名古屋大学大学院情報科学研究科 |
| 6インチレチクル | MASK-RAD-5 (再版) | 1 | 787,500 | 787,500 | 2012/12/17 | 名古屋大学大学院情報科学研究科 |

| | | | | | | |
|--------------------|---|---|-----------|-----------|------------|-----------------|
| ソフトウェア | アクセルリス社製 MS Compass 1 →3ライセンスアップ グレード | 1 | 794,850 | 794,850 | 2013/2/22 | 名古屋大学大学院情報科学研究科 |
| ソフトウェア | アクセルリス社製 MS ForcitePlus 1 →3ライセンスアップ グレード | 1 | 2,880,150 | 2,880,150 | 2013/2/22 | 名古屋大学大学院情報科学研究科 |
| オイルフリースクロールコンプレッサー | アネスト岩田 製SLP- 22EEDM6 | 1 | 798,000 | 798,000 | 2013/3/26 | 名古屋大学大学院情報科学研究科 |
| ハイパフォーマンスコンピュータ | HPC5000- XS216TS- Silent /Intel Composer XE | 1 | 892,500 | 892,500 | 2013/3/27 | 名古屋大学大学院情報科学研究科 |
| AFMプローブ | ブルカー・エイック クスイス社製 ONTV/MPP- 31120- 10/MPP- 32120- 10/SCANAS YST | 1 | 629,160 | 629,160 | 2013/7/4 | 名古屋大学大学院情報科学研究科 |
| ソフトウェア | アクセルリス 社製MS AmorphousC ell | 1 | 1,116,150 | 1,116,150 | 2013/10/25 | 名古屋大学大学院情報科学研究科 |
| 卓上顕微鏡 | 株式会社日 立ハイテクノ ジーズ製 TM3030 | 1 | 5,943,000 | 5,943,000 | 2013/12/16 | 名古屋大学大学院情報科学研究科 |
| 6インチレチクル | HOYA株式会 社製 MASK | 4 | 892,500 | 3,570,000 | 2014/1/30 | 名古屋大学大学院情報科学研究科 |

5. 研究成果の概要

高度な機能・性能を有する潤滑表面を創成する方法として、選択的紫外線照射を利用して、固体表面上のナノメートル(nm)厚さ液体潤滑膜に機能的パターンと凹凸パターンを形成する方法を世界で初めて実現した。パターン線幅を100 nmオーダーまで微細化し、摩擦・減耗特性を向上できることを確認した。また、軽荷重・高速条件での摩擦力を高精度に測定する装置を開発し、汎用装置では実現できない領域を開拓した。さらに、広範囲の密度・圧力条件に適用可能な粗視化シミュレーション法を新たに確立し、薄膜潤滑現象の高精度・高効率の解析を実現した。本技術は、磁気ディスク装置の高記録密度化・省エネルギー化やマイクロ・ナノマシンの実用化などに役立つものと期待される。

| | |
|------|-------|
| 課題番号 | GR053 |
|------|-------|

先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 研究成果報告書

本様式の内容は一般に公表されます

| | |
|----------------------------|---|
| 研究課題名 (下段英語表記) | ナノ液体膜の微細パターンニングによる機能性薄膜潤滑システムの創成 |
| | Creation of Functionalized Thin Film Lubrication Systems by Fine Patterning of Nanometer-Thick Liquid Films |
| 研究機関・部局・ 職名 (下段英語表記) | 国立大学法人名古屋大学・大学院情報科学研究科・准教授 |
| | Associate Professor, Graduate School of Information Science, Nagoya University |
| 氏名 (下段英語表記) | 張 賀東 |
| | Hedong Zhang |

研究成果の概要

(和文): 機能性潤滑表面を創成する方法として, 選択的紫外線照射を利用し, 固体表面上のナノ厚さ液体潤滑膜に機能的パターンと凹凸パターンを形成する技術を世界で初めて実現した. パターン線幅を 100 nm オーダまで微細化し, 摩擦・減耗特性を向上できることを確認した. また, 軽荷重・高速条件での摩擦力を高精度に測定する装置を開発し, 汎用装置ではできなかった特性の評価を可能にした. さらに, 広範囲の密度・圧力条件に適用可能な粗視化シミュレーション法を開発し, 薄膜潤滑現象の高精度・高効率の解析法を確立した. これらの成果は, 磁気ディスク装置の高記録密度化・省エネルギー化やマイクロマシンの実用化などに役立つものと期待される.

(英文): As a method to create functionalized lubricating surfaces, we patterned, for the first time in the world, nanometer-thick liquid films on solid surfaces into functional and topological structures using selective ultraviolet irradiation. The pattern linewidth achieved was as fine as 100-nm order, and such fine patterning was confirmed to be crucial for improving friction and depletion properties. By developing an apparatus that allows highly sensitive friction measurements under light-load and high-speed conditions, we succeeded in evaluating friction properties inaccessible to conventional equipment. We also developed a novel coarse-graining scheme that are applicable to systems with a wide range of density and pressure conditions, thereby achieving accurate and efficient simulations of thin film lubrication. These achievements will contribute to the recording density enhancement and the energy-saving of magnetic disk drives and the practical use of micro-electro-mechanical systems.

1. 執行金額 122,200,000 円
 (うち、直接経費 94,000,000 円、間接経費 28,200,000 円)

2. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

3. 研究目的

磁気ディスク装置(HDD: hard disk drives)や、マイクロマシン(MEMS: micro-electro-mechanical systems)、マイクロファブリケーションなど、ナノメートルの加工・運動・制御を対象とするナノテクノロジー分野では、ナノメートルのすきまを隔てた固体2面間の相対運動を精確かつ安定に実現することが重要な課題になっている。このため、ナノ厚さの液体潤滑膜を介した潤滑技術(薄膜潤滑技術)に関心が高まっている。薄膜潤滑では、耐久性を確保するためには、接触摺動に対してナノ潤滑膜が破断しないように、固体表面に強固に固定されている自己保持機能、かつ膜が一旦破断した場合にも、周辺部の潤滑剤分子が迅速に流動して破断箇所を修復する自己修復機能を有することが要求されている。これらの相反する要求条件を両立させながら、固体2面間の円滑な相対運動を阻害しない低凝着・低摩擦性をナノ潤滑膜に付与することが、薄膜潤滑の実現の鍵を握っているといえる。本研究では、所望の機能・性能を有する機能性薄膜潤滑表面の創成を目指して、フォトマスクを介した紫外線(UV)照射によるナノ液体膜の微細パターンニング法(図1)を提案し、その有効性を実験と分子シミュレーションの両面から評価するとともに、パターン最適化の指針を確立することを目的とした。

4. 研究計画・方法

目的を達成するために、下記の4項目について研究を進めた。

(1) パターンの微細化 凹凸パターンの凸部で摺動子を支持して、接触面積を低減することにより、低凝着・低摩擦性を実現することができる。そのためには、凹凸パターンの線幅を摺動部のサイズより十分小さくすることが必須である。そこで、UV照射装置の構成やUV照射の条件などがナノ潤滑膜のパターン形成に及ぼす影響を精査することにより、パターン微細化の方法を探索し、線幅 sub- μm のナノ潤滑膜のパターンを実現する。

(2) 摺動子の超平滑化 機能性潤滑表面を創成する方法を確立するために、パターンの寸

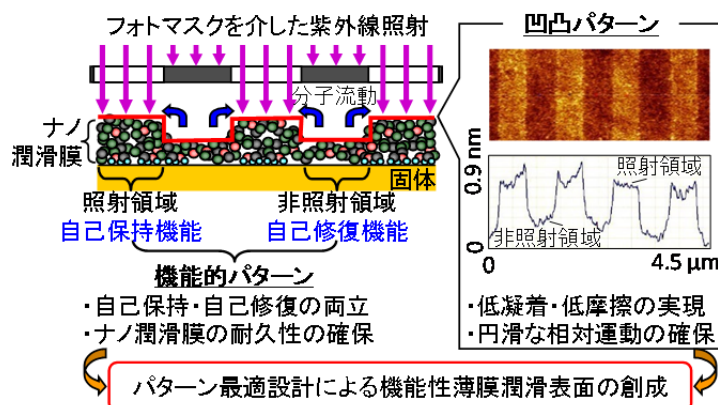


図1 ナノ液体膜パターンニングによる機能性潤滑表面の創成。

法・形状とトライボロジー特性との関係を定量化するとともに、そのメカニズムを解明することが必須である。しかし、従来の摺動子は表面精度が不十分なため、粗さの突起先端が潤滑膜を貫通し、固体接触の影響を含んだ特性が観測されている可能性がある。この問題を解決するために、ガスクラスターイオンビーム(GCIB: gas cluster ion beam)によるスパッタリング法を用いて、摺動子に超平滑化加工を施し、粗さの最大山高さ R_p が sub-nm 以下の表面精度を実現する。

(3) トライボロジー特性の評価 汎用の評価装置として、走査プローブ顕微鏡および表面力測定装置があるが、摺動速度がたかだか 0.1 mm/s オーダまでであるため、実用性能の評価には適さない。そこでまず、ピンオンディスク式トライボスタを開発し、0.1 m/s オーダの高速摺動条件において、ナノ潤滑膜のトライボロジー特性の高精度な測定を実現する。そして、ナノ潤滑膜パターンの寸法・形状などをパラメータにして、凝着・摩擦特性および減耗・修復特性を定量化する。

(4) 分子シミュレーション ナノ潤滑膜のパターニングは、固液相互作用を利用して、流動性を有する液体膜の運動・構造を制御することにより、初めて実現されるものである。そこで、パターンの形成メカニズムや効果を解明するために、量子化学計算と分子動力学シミュレーションを行い、UV 照射や接触摺動などに対するナノ潤滑膜の応答過程を分子論的に定量化する。とくに、全原子モデルを用いた分子動力学シミュレーションは計算時間が膨大となり困難であるため、粗視化モデルを構築することにより、大きな時間・空間スケールをもつ潤滑現象について、高効率かつ高精度な分子動力学シミュレーションを実現する。

5. 研究成果・波及効果

研究成果

本研究では、ナノ液体潤滑膜の微細パターニングを実現するとともに、凝着・摩擦・減耗の低減に有効な機能性薄膜潤滑表面を創成するためのパターン設計指針を確立し、当初の研究目的をほぼ達成できた。研究成果の具体的な内容を以下に述べる。

(1) パターンの微細化 パターン形状により低凝着・低摩擦を実現し、さらに実製品に応用するためには、微細な凹凸パターンを広範囲に形成することが必須である。そこで、UV 照射時間や、照射強度の空間分布、照射用マスクと試料の固定方法などがパターン形成に及ぼす影響を綿密に調査した。その結果、パターンの線幅を制限する主要因を突き止め、制限要因を取り除く創意工夫によって微細化の方法を見出した。最終的には、簡易なコンタクト露光法により、ディスクの全周にわたって、厚さ 2 nm の液体潤滑膜表面に、線幅 500 nm 高低差 1 nm の微細凹凸パターンを均一に形成することに成功し(図 2)、線幅 sub- μm を目標とした

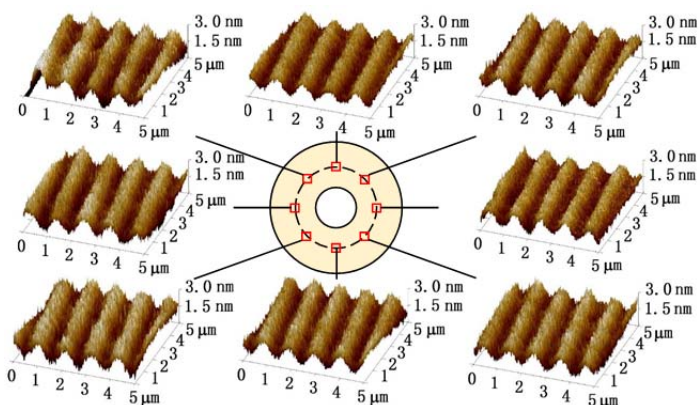


図 2 ディスクの全周にわたって、厚さ 2 nm の液体潤滑膜表面に形成した線幅 500 nm 高低差 1 nm の微細凹凸パターン。

微細化を達成できた。なお、凹凸パターンの凹部に比べて、凸部が低凝着・低摩擦を示しており、ナノ潤滑膜に微細な機能性パターンを付与できたことも確認した。この成果により、機能性薄膜潤滑システムを創成するための基盤を構築できた。

(2) 摺動子の超平滑化 種々の条件下で GCIB 加工を実施し、摺動子表面粗さと表面エネルギーの変化を評価した結果に基づき、最適な加工条件を選定した。その結果、粗さの最大山高さ Rp が 0.79 nm の超平滑化摺動子を実現し、1 nm 以下とした当初の目標を達成した。また、膜厚が単分子層以下の領域では、摺動子表面粗さの差異により、摩擦係数が大きく異なることを確認した。すなわち、HDD や MEMS 用単分子層潤滑膜の摩擦特性評価には、摺動子表面粗さの影響が顕在化するため、磁気ヘッドや MEMS のシリコン表面の面精度に匹敵する超平滑化摺動子の使用が必須であることを明らかにした。

(3) トライボロジー特性の評価 ナノ厚さ潤滑膜の評価装置として、ピンオンディスク式トライボテスタを開発した。この装置は、摺動子の超平滑化との軽微荷重(2 mN 以下)摺動の安定化により、ナノ潤滑膜の減耗・損傷を抑制できる点、また励振抑制構造をもつセンサ機構の搭載により、速度 0.2 m/s までの高速摺動における摩擦特性を安定かつ高精度に測定できる点が特長であり、汎用装置に比較して、摺動条件を大幅に拡張した点で優位性をもつ。開発したトライボテスタ、および摺動減耗装置を用いて、ナノ潤滑膜の摩擦、凝着、減耗、修復特性に及ぼすパターンの線幅や形状の影響を系統的に評価した。その結果、①パターン線幅の減少とともに、ナノ潤滑膜の摩擦力(図 3)と減耗量が低減し、UV 非照射と全面照射のいずれよりも優れた機能を創成できること、②パターン方向が摺動方向と直交する場合のほうが、両者が平行の場合より、摩擦力が低くかつ潤滑膜の修復が速いこと、③UV 照射領域の面積割合の増加とともに、ナノ潤滑膜の減耗量が低減し、耐久性が向上すること、④微細パターンングが UV 全面照射と同程度の凝着力低減効果を示すこと、などを明らかにした。これにより、提案した微細パターンング法がナノ潤滑膜のトライボロジー特性の向上に有効であることを明らかにするとともに、パターンを最適化するための設計指針を提示することができた。

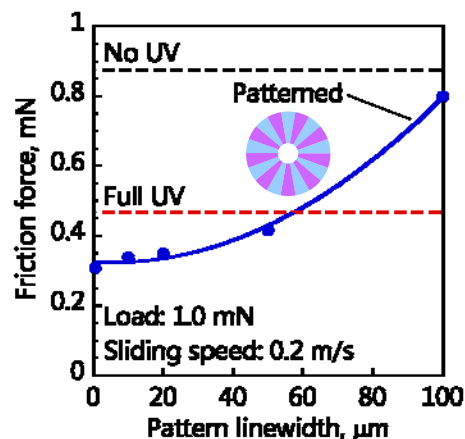


図 3 ナノ潤滑膜の摩擦特性に及ぼすパターン線幅の効果を測定した結果。

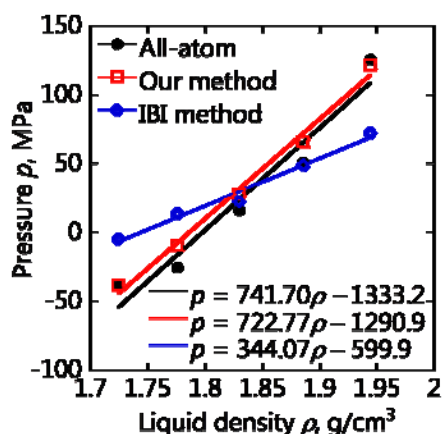


図 4 密度を変化させた液体潤滑剤バルク系のシミュレーション結果。従来の IBI 法より、提案した方法で構築した粗視化モデルのほうが、精確な全原子モデルの計算結果とよく一致しており、現象を高精度に再現していることがわかる。

(4) 分子シミュレーション 第一原理量子化学計算を実施し、UV 照射効果について、メカニズムの解明および照射過程のモデル化に成功した。また、分子動力学シミュレーションの時間を短縮するために、液体分子の粗視化方法を新規に提案し、従来法より広範囲の熱力学条件に適用可能な粗視化モデルの構築に成功した(図 4)。この粗視化モデルの利用により、密度や圧力の時間・空間的変動をともなう液体薄膜の凝着・摩擦現象について、高効率(全原子モデルの約 1/100 の計算時間)かつ高精度(全原子モデルと同程度の精度, 図 4)な定量解析を可能とした。解析結果から、①液体薄膜を介した凝着現象では、膜の密度変化が発生するために、密度がほぼ一定で界面面積の変化が支配的であるマクロな厚さの液体膜の場合に比較して、凝着力の発生メカニズムおよび凝着特性が異なること、②液体膜の厚さの減少とともに、固液界面で発生するスリップが摩擦特性に及ぼす影響が増大すること、などを明らかにした。このような分子論的知見に基づき、液体薄膜の微視的構造を考慮した新しい凝着理論モデルを構築することに成功した。また、分子シミュレーションと実験の結果を統合的に考察することにより、パターンングによって潤滑特性を向上するための指針は、微細パターン部の凸部で摺動面を支持させるとともに、流動潤滑剤分子の運動を調整できるように、パターンングによって固定潤滑剤分子を分布させるということを明らかにした。

波及効果

本研究は、微小摺動すきまにおける新しい潤滑方式(薄膜潤滑)を確立するために実施したものであり、ナノトライボロジーの学術・技術の発展に寄与できる。薄膜潤滑は、ナノテクノロジーの実用化技術として注目されているが、薄膜潤滑の特性はまだ十分に解明されておらず、また実用レベルの機能・性能を満足できる薄膜潤滑システムの構築も挑戦的な課題となっている。本研究の成果は、薄膜潤滑の特性解明や有効利用に直接寄与し、とくに実用性の優れた薄膜潤滑システムとして、微細パターンングしたナノ潤滑膜を世界で初めて実現するとともに、その有用性を確認した点において、大きな意義を有する。

本研究は、産業的応用として HDD 技術分野を主眼としており、次世代装置開発のボトルネックとなっている潤滑技術にブレークスルーを提供することにより、HDD の高記録密度化・省エネルギー化に貢献することが期待できる。HDD のみならず、マイクロ・ナノマシンや自動車関連の極限潤滑など、ナノレベルの相対運動をともなう技術分野にも展開可能であるため、これらの分野における技術発展に貢献し、低炭素社会の実現に役立つと期待される。また、本研究では、薄膜潤滑技術の確立に向けて、固体表面における液体薄膜のトライボロジー特性を高精度に評価する計測法とシミュレーション法を開発してきた。これらの基礎技術は、固体表面における液体の拡散流動、濡れ性、潤滑や摩擦などを対象とする表面・界面科学やこれらを応用する技術分野において、活用されることが期待される。

6. 研究発表等

| | |
|------------------------|---|
| <p>雑誌論文 計 9 件</p> | <p>(掲載済み一査読有り) 計 8 件</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 張賀東, 三矢保永, 難波克也, 榊原寛幸, 福澤健二, 伊藤伸太郎, “ガスクラスターイオンビーム加工によるガラス面の表面粗さおよび表面エネルギーの変化,” トライボロジスト, 2012, Vol. 57, No. 2, pp. 116-122. (2) (解説記事)張賀東, “ナノ厚さ液体膜のパターニングによる機能性潤滑表面の創成,” トライボロジスト, 2012, Vol. 57, No. 8, pp. 522-527. (3) R. Lu, H. Zhang, M. Itakura, K. Fukuzawa, S. Itoh, “Adhesion Properties of Monolayer Lubricant Films Coated on Magnetic Disk Surfaces: Contributions of Mobile and Bonded Molecules,” IEEE Transactions on Magnetics, 2012, Vol. 48, No. 11, pp. 4269-4272. (4) R. Lu, H. Zhang, Y. Mitsuya, K. Fukuzawa, S. Itoh, “Friction Measurements of Nanometer-thick Lubricant Films Using Ultra-smooth Sliding Pins Treated with Gas Cluster Ion Beam,” Applied Surface Science, 2013, Vol. 280, pp. 619-625. (5) Md. K. Alam, H. Zhang, N. Koga, S. Iuchi, “Ultraviolet Bonding of Perfluoropolyethers to Carbon Surfaces Investigated Using Quantum Chemical Methods,” Microsystems Technologies, 2013, Vol. 19, No. 9-10, pp. 1383-1391. (6) M. Fukuda, H. Zhang, T. Ishiguro, K. Fukuzawa, S. Itoh, “Adhesion Properties of Nanometer-thick Perfluoropolyether Films Confined between Solid Surfaces: A Coarse-grained Molecular Dynamics Study,” Tribology Letters, 2013, Vol. 51, No. 3, pp. 479-487. (7) M. Fukuda, H. Zhang, T. Ishiguro, K. Fukuzawa, S. Itoh, “Structure-based Coarse-graining for Inhomogeneous Liquid Polymer Systems,” Journal of Chemical Physics, 2013, Vol. 139, No. 5, pp. 054901-1-11. (8) R. Lu, H. Zhang, Y. Mitsuya, K. Fukuzawa, S. Itoh, “Contributions of Mobile and Bonded Molecules to Dynamic Friction of Nanometer-thick Perfluoropolyether Films Coated on Magnetic Disk Surfaces,” Tribology Letters, 2014, Vol. 54, pp. 237-247. <p>(掲載済み一査読無し) 計 0 件</p> <p>(未掲載) 計 1 件</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) Y. Mitsuya, H. Zhang, K. Namba, K. Fukuzawa, S. Itoh, “Development of a Ball-Suspension Assembly for Measuring Speed-Dependent Friction Characteristics of Thin Lubricant Films Coated on Magnetic Disks,” IEEE Transactions on Magnetics, in press. |
| <p>会議発表 計 24 件</p> | <p>専門家向け 計 24 件</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) (招待講演)H. Zhang, “Tailoring Characteristics of Molecularly Thin Lubricant Films by UV-Patterning,” トライボロジー国際フォーラム 2011 春, 東京, 2011 年 5 月 23 日, 日本トライボロジー学会主催. (2) 板倉誠史, 張賀東, 福澤健二, 伊藤伸太郎, “紫外線照射による磁気ディスク上の単分子層極性潤滑膜の凝着特性の変化,” 日本機械学会 2011 年度年次大会, 東京, 2011 年 9 月 11-14 日, 日本機械学会主催. (3) 福田基雄, 石黒高寛, 張賀東, 福澤健二, 伊藤伸太郎, “粗視化分子動力学法によるナノ厚さ潤滑膜を介した固体二面間の凝着シミュレーション,” 日本機械学会 2011 年度年次大会, 東京, 2011 年 9 月 11-14 日, 日本機械学会主催. (4) 難波克也, 榊原寛幸, 張賀東, 三矢保永, 福澤健二, 伊藤伸太郎, “ガスクラスターイオンビーム加工によるガラス面の表面粗さおよび表面エネルギーの変化,” 日本機械学会 2011 年度年次大会, 東京, 2011 年 9 月 11-14 日, 日本機械学会主催. (5) M. Fukuda, T. Ishiguro, H. Zhang, K. Fukuzawa, S. Itoh, “Coarse-grained Molecular Dynamics Simulations of Adhesion Properties of Nanometer-thick Liquid Lubricant Films,” International Tribology Conference Hiroshima 2011, Hiroshima, Japan, October 30-November 3, 2011, Sponsored by the Japanese Society of Tribologists. |

| | |
|--|--|
| | <p>(6) R. Lu, H. Zhang, M. Itakura, K. Fukuzawa, S. Itoh, "Adhesion Properties of Monolayer Lubricant Films Coated on Magnetic Disk Surfaces: Contributions of Mobile and Bonded Molecules," IEEE international Magnetics Conference (INTERMAG 2012), Vancouver, Canada, May 7-11, 2012, Sponsored by the Magnetics Society of IEEE.</p> <p>(7) Md. K. Alam, H. Zhang, "Quantum Chemical Study of Ultraviolet Bonding of Perfluoropolyethers to Graphene," JST International Symposium on Multi-scale Simulation of Condensed-phase Reacting Systems, Nagoya, Japan, May 10-12, 2012, Sponsored by the Japan Science and Technology Agency (JST).</p> <p>(8) H. Zhang, Y. Kawai, M. Fukuda, Md. K. Alam, K. Fukuzawa, S. Itoh, "Molecular Dynamics Simulations of UV Patterning of Nanometer-Thick Liquid Lubricant Films," 2012 ASME-ISPS/JSME-IIP Joint International Conference on Micromechatronics for Information and Precision Equipment (MIPE2012), Santa Clara, USA, June 18-20, 2012, Sponsored by the ISPS Division of the American Society of Mechanical Engineers and the IIP Division of the Japan Society of Mechanical Engineers.</p> <p>(9) Md. K. Alam, H. Zhang, "Ultraviolet Bonding of Perfluoropolyethers to Carbon Surfaces Investigated Using Quantum Chemical Method," 2012 ASME-ISPS/JSME-IIP Joint International Conference on Micromechatronics for Information and Precision Equipment (MIPE2012), Santa Clara, USA, June 18-20, 2012, Sponsored by the ISPS Division of the American Society of Mechanical Engineers and the IIP Division of the Japan Society of Mechanical Engineers.</p> <p>(10) M. Fukuda, T. Ishiguro, H. Zhang, K. Fukuzawa, S. Itoh, "Simulation of Adhesion Properties of Nanometer-Thick Perfluoropolyether Films Using Coarse-Grained Molecular Dynamics", 2012 ASME-ISPS/JSME-IIP Joint International Conference on Micromechatronics for Information and Precision Equipment (MIPE2012), Santa Clara, USA, June 18-20, 2012, Sponsored by the ISPS Division of the American Society of Mechanical Engineers and the IIP Division of the Japan Society of Mechanical Engineers.</p> <p>(11) Md. K. Alam, H. Zhang, "Quantum Chemical Study of Interactions of Perfluoropolyether with Carbon Surfaces: Effects of Nitrogen Incorporation and Ultraviolet Irradiation," 12th Joint MMM/Intermag Conference, Chicago, USA, January 14-18, 2013, Sponsored by the American Institute of Physics and the Magnetics Society of IEEE.</p> <p>(12) 難波克也, 飯田勤, 張賀東, 三矢保永, 福澤健二, 伊藤伸太郎, "ナノ厚さ潤滑膜特性評価用のピンオンディスク摩擦測定機の性能向上," 日本機械学会 2012 年度年次大会, 金沢, 2012 年 9 月 9-12 日, 日本機械学会主催.</p> <p>(13) 呂仁国, 張賀東, 三矢保永, 福澤健二, 伊藤伸太郎, "ガスクラスティオンビーム加工による超平滑化摺動子を用いたナノ潤滑膜の摩擦測定," トライボロジー会議 2012 秋, 北海道室蘭, 2012 年 9 月 16-18 日, 日本トライボロジー学会主催.</p> <p>(14) 桑原卓也, 呂仁国, 張賀東, 福澤健二, 伊藤伸太郎, "紫外線照射によるナノ液体潤滑膜のパターン形成と減耗特性に関する研究," トライボロジー会議 2012 秋, 北海道室蘭, 2012 年 9 月 16-18 日, 日本トライボロジー学会主催.</p> <p>(15) 呂仁国, 張賀東, 三矢保永, 福澤健二, 伊藤伸太郎, "磁気ディスク表面におけるナノ厚さ液体潤滑膜の動的摩擦特性," IIP2013 情報・知能・精密部門 (IIP 部門) 講演会, 2013 年 3 月 21-22 日, 日本機械学会情報・知能・精密部門主催.</p> <p>(16) R. Lu, H. Zhang, Y. Mitsuya, K. Fukuzawa, S. Itoh, "Contributions of Mobile and Bonded Molecules to Dynamic Friction of Nanometer-thick Perfluoropolyether Films Coated on Magnetic Disk Surfaces," 5th World Tribology Congress (WTC2013), Torino, Italy, September 8-13, 2013, Sponsored by the Italian Tribology Association.</p> <p>(17) R. Lu, H. Zhang, Y. Mitsuya, K. Fukuzawa, S. Itoh, "Super-smooth Sliding Pins Processed with Gas Cluster Ion Beams for Pin-on-Disk Tests of Nanometer-thick Liquid Lubricant Films," 5th World Tribology Congress (WTC2013), Torino, Italy, September 8-13, 2013, Sponsored by the Italian Tribology Association.</p> <p>(18) M. Fukuda, H. Zhang, H. Washizu, T. Kinjo, H. Yoshida, K. Fukuzawa, S. Itoh, "Dissipative Particle Dynamics Simulation of Nanometer-thick Liquid Lubricant Films under Shear," 3rd</p> |
|--|--|

| | |
|--|---|
| | <p>International Conference Molecular Simulation (ICMS2013), Kobe, Japan, November 18-20, 2013, Sponsored by the Molecular Simulation Society of Japan.</p> <p>(19) 福田基雄, 石黒高寛, 張賀東, 福澤健二, 伊藤伸太郎, “分子動力学解析のためのナノ厚さ液体潤滑膜の粗視化モデル,” 日本機械学会 2013 年度年次大会, 岡山, 2013 年 9 月 8-11 日, 日本機械学会主催.</p> <p>(20) 駒田俊, 呂仁国, 張賀東, 伊藤伸太郎, 福澤健二, “単分子層潤滑膜の減耗・修復特性に及ぼす紫外線照射パターンニングの効果,” 日本機械学会 2013 年度年次大会, 岡山, 2013 年 9 月 8-11 日, 日本機械学会主催.</p> <p>(21) 福田基雄, 張賀東, 鷺津仁志, 金城友之, 吉田広顕, 福澤健二, 伊藤伸太郎, “粗視化分子動力学法を用いたナノ厚さ液体潤滑膜のせん断特性解析,” トライボロジー会議 2013 秋, 福岡, 2013 年 10 月 23-25 日, 日本トライボロジー学会主催.</p> <p>(22) (招待講演)張賀東, “ナノ厚さ潤滑膜の分子構造と凝着・摩擦特性に及ぼす UV ボンディングの効果,” ファイル記憶のトライボロジー研究会 2013 年度第 2 回研究会, 大船, 2014 年 3 月 7 日, 日本トライボロジー学会ファイル記憶のトライボロジー研究会主催.</p> <p>(23) 呂仁国, 張賀東, 三矢保永, 福澤健二, 伊藤伸太郎, “ナノ厚さ液体潤滑膜の摩擦特性に及ぼす紫外線照射パターンニングの効果,” IIP2014 情報・知能・精密部門 (IIP 部門) 講演会, 東京, 2014 年 3 月 18-19 日, 日本機械学会情報・知能・精密部門主催.</p> <p>(24) (招待講演)張賀東, “粗視化分子動力学シミュレーションを用いたナノ厚さ液体潤滑膜のせん断・凝着特性解析,” 第 18 回分子シミュレーションのトライボロジーへの応用研究会, 東京, 2014 年 3 月 26 日, 日本トライボロジー学会分子シミュレーションのトライボロジーへの応用研究会主催.</p> <p>一般向け 計 0 件</p> |
| <p>図書</p> <p>計 0 件</p> | |
| <p>産業財産権 出願・取得 状況</p> <p>計 1 件</p> | <p>(取得済み) 計 0 件</p> <p>(出願中) 計 1 件</p> <p>(1) 2面間相互作用力あるいは摩擦力測定用の摺動子アセンブリ、摺動子アセンブリの製造方法および測定装置, 張賀東, 三矢保永, 名古屋大学, 特願 2012-196243, 2012 年 9 月 6 日, 国内.</p> |
| <p>Webページ (URL)</p> | <p>http://www.is.nagoya-u.ac.jp/dep-cs/nanosurf/index.html</p> |
| <p>国民との科 学・技術対 話の実施状 況</p> | <p>(1) 名古屋大学オープンレクチャー:磁気ディスクにおける潤滑技術のはなし, 2012 年 3 月 23 日名古屋大学にて実施, 一般向け, 参加者数:23 名, 内容:磁気ディスク装置の基本構造・動作や重要性を解説するとともに, 磁気ディスク装置の大容量化に向けた本研究での取り組みを紹介した.</p> <p>(2) 名古屋大学オープンレクチャー:ナノ世界の魅力 液体膜による潤滑技術のはなし, 2013 年 3 月 20 日名古屋大学にて実施, 一般向け, 参加者数:15 名, 内容:本研究で取り組んでいる凹凸パターンを形成した液体膜による新しい潤滑技術を紹介しながら, ナノ世界の魅力を語った.</p> <p>(3) 女子中高生理系進学推進セミナー:特別講演「ナノワールドを観る、楽しむ」, 2013 年 8 月 8 日名古屋大学にて実施, 対象者:女子中学生・高校生および保護者, 教員, 参加者数:約 100 名, 内容:本研究で取り組んでいる液体薄膜のパターンニングを紹介しながら, マイクロ・ナノ領域の物理現象に関する研究の手法と楽しさを語った.</p> |

様式21

| | |
|-----------------------|---|
| 新聞・一般 雑誌等掲載 計1件 | (1) 中部経済新聞, 2011年11月29日付4面, 「研究現場発」名古屋大学大学院情報科学研究 科准教授 張賀東 |
| その他 | |

7. その他特記事項