

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 1 月 16 日現在

機関番号：82108

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26630042

研究課題名(和文) 光による摩擦力低減効果の研究

研究課題名(英文) Research on reduction of friction force by light

研究代表者

後藤 真宏 (Goto, Masahiro)

国立研究開発法人物質・材料研究機構・エネルギー・環境材料研究拠点・主席研究員

研究者番号：00343872

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：真空環境下において、有機分子とサファイア単結晶基板間のナノレベルの摩擦力が、レーザーのON-OFF光照射を行なった場合に、可逆的に繰り返し変化する現象を発見した。また、水中における低摩擦化の現象に比べて、摩擦変化の光応答性が速いことを突き止めた。このように、世界で初めて真空環境下において光による摩擦力制御に成功した。

研究成果の概要(英文)：The friction force (FF) between organic molecules on a silicon cantilever and a sapphire single-crystal substrate was controlled by laser irradiation in a vacuum. The molecules on the tip surface of the cantilever absorbed the laser light and were photoexcited. It was found that the interaction between the molecules and the sapphire in the vacuum was changed rapidly by the irradiation, thus increasing the FF. After turning off the laser, the FF returned to its original value. The photo response speed of the FF under the vacuum was faster than that under water condition. It was succeeded that the control of the FF by the light under the vacuum condition for the first time in the world.

研究分野：物理化学

キーワード：摩擦 トライボロジー ナノトライボロジー 光 レーザー 有機分子 真空

1. 研究開始当初の背景

摩擦力は、相対運動下で物体表面間に生じる相互作用により、決定される物理量である。摩擦力を低減して省エネルギーを実現したり、または、必要とする大きさの摩擦力を得るためには、この相互作用を人為的に制御する必要がある。例えば、マイクロマシン (MEMS) を例に挙げると、MEMS は、機械的要素をはじめとして、電気・光学・化学・磁気的な様々な機能を集積化した微細デバイスである。MEMS 駆動部は非常に小さいので、運動に対する摩擦力の影響の割合が大きくなる。よって、MEMS の運動を簡便に制御するためには、何らかの外場を用いてナノレベルの摩擦特性を人為的に制御する必要があるものの、これまで容易ではなかった。仮に、波長が制御された光照射により、MEMS の運動制御が可能となれば、ナノレベルの物体搬送の速度・方向性制御やマイクロ液体混合による化学反応の制御などの実現が可能となるであろう。

2. 研究の目的

真空環境下において、有機分子が固定されたカンチレバーを用いてナノレベルの摩擦力測定を行い、測定中に波長選択された光を照射することで、摩擦力がどのように変化するかを明らかにする。そして、光によるナノ摩擦制御を実現することを、本研究の目的とする。

3. 研究の方法

真空環境下で波長を選択して光照射を行ないながらナノトライボロジー測定が可能なシステムを構築し、有機分子が固定されたカンチレバーによる摩擦測定に与える影響について観察する。具体的には以下の通りである。

(1) 真空環境ナノトライボロジー光照射その場観察システムの構築

ナノトライボロジー測定装置の改造

我々のグループで所有しているナノトライボロジー測定装置を基盤とし、そこに真空排気装置、光導入光学系を組み合わせた装置を構築する。

光照射基礎ナノトライボロジーデータの取得

で構築したシステムについて、通常のカンチレバーについて、真空環境下でナノレベルにおける摩擦力の測定を行い、有機分子が固定されていない状態での摩擦力の光照射強度依存性についての基礎データを取得する。

(2) 真空環境下における有機分子と材料との摩擦力の光波長依存性に関する研究

有機分子固定カンチレバーの作製

カンチレバーを固定し、光学顕微鏡で観察しながら、上下駆動ステージ上に置かれた有機分子溶液を徐々にカンチレバーに近づけ、カンチレバーの先端部近傍に有機分子を析出・固定する。

有機分子固定カンチレバーを用いた摩擦力の光照射依存性の測定

にて作製した有機分子固定カンチレバー、ならびに、サファイア基板を、(1)で作製した真空環境ナノトライボロジー光照射その場観察システムに装着し、真空環境下において有機分子とサファイアとの摩擦力の光照射依存性について詳細に測定・解析を行なう。

4. 研究成果

(1) 真空環境ナノトライボロジー光照射その場観察システムの構築

通常の大気型ナノトライボロジー測定装置に光導入が可能のように改造を試みた。はじめに、試料ホルダー部分を加工し、ホルダー中央部に小型のミラーを斜めに固定することで光導入を試みた。しかしながら、摩擦スキャン測定時の光むらによるエラーの問題、光導入光軸合わせの困難性の問題等、実験的に幾つかの問題が発生したために、この問題点を踏まえて再度、光導入系を作り直した。改良したものは、ピエゾスキャナー上部に円筒形の光導入ブロックを重ねて固定する方法を用い、ナノトライボロジー測定装置本体の中間部に新たに光導入に向けたビューポートを設けた。

また、後述するが、始めに使用していた、分光照射光源では光強度が低いため、現象の観察が明瞭に確認できなかった。そのため、この光源に代わって、レーザー光源を新たに導入・光学系の再構築を行ない、これを光励起に用いた。また、この場合には光強度の違いが現象に与える影響が大きいたことが分かり、レーザー光源は多段 ND フィルターで強度調整ができるように改良した。さらに、測定場所におけるレーザー光強度の分布が重要になってきたために、レーザービームの均一化のためにレーザー照射強度の良好な部分のみを試料ホルダー部に導入できるような光学系を構築した。本研究の目的は、真空環境下において、有機分子が固定されたカンチレバーを用いてナノレベルの摩擦力の光照射依存性を測定することであるため、測定本体部を真空排気するためのターボ分子真空排気系を設置する改造を行なった。(図 1)

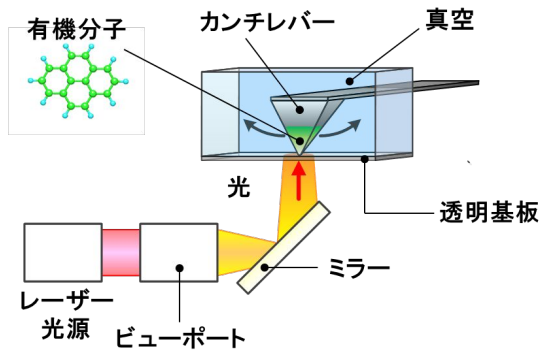


図1 真空環境ナノトライボロジー照射その場観察システム概念図

(2)真空環境下における有機分子と材料との摩擦力の光波長依存性に関する研究

クマリン6分子固定カンチレバーの作製
 今回、カンチレバーに固定する分子には、クマリン6を用いた。この分子は、当方がレーザー分子注入・固定の研究にて頻繁に使用する分子であり、基礎的な知見を有していたため、はじめに用いることにした。実験当初には、真空蒸着装置を用いて、水晶振動子にて膜厚を制御しながらカンチレバーに有機分子を蒸着する方法を用いたが、カンチレバーを扱う時にダメージを与える可能性が大きいこと、分子の固定領域を制限しにくいことから、最終的には3.(2)の方法にてクマリン6分子をカンチレバー先端部近傍に固定した。

クマリン6分子固定カンチレバーを用いた摩擦力の照射依存性の測定

(1)で述べた装置を用いて、真空環境下において、クマリン6分子を修飾したカンチレバーとサファイア単結晶基板間に発生する摩擦力の照射依存性を測定した。

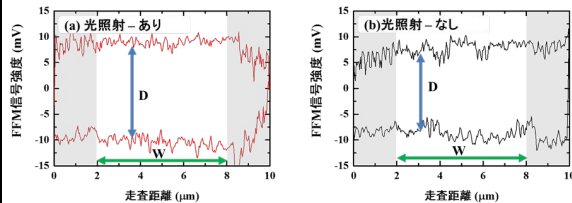
第一に、真空環境、レーザー照射無しの条件下において、通常分子修飾されていないシリコン製のカンチレバーとサファイア単結晶基板との摩擦力の測定を行った。そして、他の条件は変えず、レーザー照射(波長: 405 nm, 光強度: 100 μW/cm², 連続光)を行なった場合に、同様に摩擦力を測定した。チャンパー内の真空は、2×10⁻⁴ Pa としました。走査スピード、走査長は、それぞれ、2 μm/s、10 μm としました。この実験を荷重0.2nN~16nNの範囲で9点ほど変えながら同様の実験を繰り返し行なった。その結果、この場合には摩擦力のレーザー照射による変化は現れなかった。

次に、クマリン6分子固定カンチレバーを用いて同様の実験を実施した。その結果、レーザー照射により摩擦力が増大することを発見した。照射をやめると摩擦力が照射前の値に戻ることも確認できた。これは、当方が以前発見した水中における照射の低摩擦化の現象に比べて、摩擦変化の光応答

性が極めて速いことを突き止めた。また、荷重を増加させていくとある閾値を超えると、このレーザー光による摩擦力増大効果が見られなくなることを突き止めた。これは、荷重の多大な印加により、カンチレバー先端部に固定していた分子が失われるためであると考えている。

図2に、荷重を10nN印加して測定し、得られた摩擦力の変化の例を示す。本測定では、走査の行きと帰りのシグナルの大きさの差分の1/2が摩擦力の大きさに相当する。レーザー光のONとOFFでは、摩擦力が変化していることがわかる。

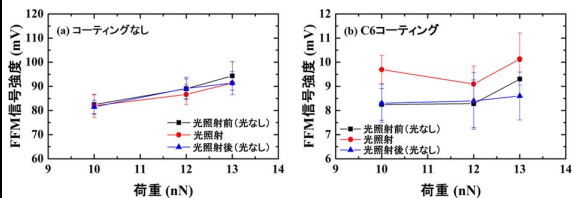
図2 クマリン6分子とサファイア基板間に



における摩擦測定例(フリクションループ測定)(a)レーザー照射時、(b)レーザー光遮断時、D/2が摩擦力の大きさに対応

図3は、この摩擦力の変化について、クマリン6分子の有無、荷重依存性を示す。クマリン6分子が付いていない場合には、光の照射有無による摩擦力の変化は見られず、荷重印加に比例して摩擦力が増大という摩擦の基本的な法則(アモントン・クーロン摩擦則)に沿って変化していることがわかる。一方、クマリン6分子がコーティングされたものでは、光の導入により摩擦力が増加する現象が見られる。また、光を遮断すると照射前の摩擦力に瞬時に戻ることが明らかとなった。さらに、13nN以上に荷重を印加すると、繰り返し照射前の摩擦力に復元しないことがわかった。これは、荷重の増加により、チップ先端のクマリン6分子が減少することが原因と考えられる。また、クマリン6分子をコーティングした場合は、摩擦力が、約1/10に低減されることが明らかとなった。

図3 クマリン6分子の有無、荷重の大きさ、



レーザー光の照射の有無による摩擦力の変化(a)クマリン6分子無し、(b)クマリン6分子あり

今回、我々は、クマリン6分子とサファイア基板を取り上げ、光による摩擦制御の可能性について研究し、それが実現可能であることを見出した。本手法を用いれば、様々なマイクロマシンの微小な駆動部の運動を照射で制御できる可能性がある。今後は、材料

の組み合わせによる違いやマクロスケールへの拡張が期待される。

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3件)

Michiko Sasaki, Yibin Xu and Masahiro Goto, Control of friction force by light observed by friction force microscopy in a vacuum, Appl. Phys. Exp., **10** (2017) 015201-1 – 015201-3.

DOI:10.7567/APEX.10.015201

Zhan Tianzhuo, Yibin Xu, Masahiro Goto, Yoshihisa Tanaka, Ryozou Kato, Michiko Sasaki, Boundary resistance at Au/Ge/Ge and Au/Si/Ge interfaces, RSC ADVANCES, **5** (2015) 49703-49707.

M. Goto, M. Sasaki, A. Kasahara, M. Tosa, Frictional Property Depended on Crystal Preferred Orientation Analyzed by a Combinatorial Technique, Tribol. Lett., **55** (2014) 289-293.

DOI: 10.1007/s11249-014-0349-5

[学会発表](計4件)

Masahiro Goto, Michiko Sasaki, Akira Kasahara, Masahiro Tosa, Zinc oxide low-friction coating- from nanotribological investigation to bearing application, PRICM9, Kyoto Japan. (2016年8月5日)

Masahiro Goto, Michiko Sasaki, Yibin Xu, Yukihiro Isoda, Masahiro Tosa, Yoshikazu Shinohara, Optimization of p, n-type thermoelectric properties of bismuth telluride thin films by combinatorial sputter coating system, ICQNM2015, Venice, Italy (2015年8月25日)

Masahiro Goto, Michiko Sasaki, Akira Kasahara, Masahiro Tosa, Toyohiro Chikyow, Combinatorial optimization of crystal orientation for tribology (COCOT), 8th International Conference on Combinatorial Materials Science (COMBI14), Cairns, Australia (2014年10月7日)

Masahiro Goto, Michiko Sasaki, Akira Kasahara, Masahiro Tosa, Combinatorial Optimization of Crystal Orientation for Tribology (COCOT), Swiss-Japanese Tribology Meeting 2014, Zurich, Switzerland (2014年9月9日)

[プレス発表](計2件)

「光のON-OFFで摩擦の増減を制御」
独立行政法人物質・材料研究機構プレス発表、
2016年12月8日

<http://www.nims.go.jp/news/press/2016/12/>

201612080.html

<http://www.nims.go.jp/news/press/2016/12/hdfqf1000008emfm-att/p201612080.pdf>

「サファイア基板の摩擦力制御、物材研が新技術」

鉄鋼新聞 2016年12月16日(金)掲載

出願状況(計1件)

名称：摩擦力制御方法及び摩擦力制御装置

発明者：佐々木道子、後藤真宏、徐一斌

権利者：国立研究開発法人物質・材料研究機構

種類：特許

番号：特許願 2016 - 138964

出願年月日：平成28年7月13日

国内外の別：国内

6. 研究組織

(1)研究代表者

後藤 真宏 (GOTO Masahiro)

国立研究開発法人 物質・材料研究機構
エネルギー・環境材料研究拠点・主席研究員

研究者番号：00343872