

光の ON-OFF で摩擦の増減を制御

配布日時：平成 28 年 12 月 8 日 14 時
国立研究開発法人 物質・材料研究機構

概要

1. 国立研究開発法人物質・材料研究機構 エネルギー・環境材料研究拠点の後藤 真宏 主席研究員、ならびに情報統合型物質・材料研究拠点の佐々木 道子 NIMS ポスドク研究員（現在、東京大学特任研究員）らは、真空中において有機分子とサファイア基板間に生ずる摩擦力の大きさをレーザー光の照射の有無で繰り返し変化させられることを見出しました。これは光の照射により、マイクロマシンなどの微小な駆動部の運動を制御できる可能性を秘めています。
2. 加速度センサーやジャイロスコプなど微小な装置の駆動部として使用されるマイクロマシン¹⁾は、凝着力（複数の物質が互にくっつくこうとする力）の影響が非常に大きく、その部分に生じる摩擦力が増大すると駆動部の運動が大きく阻害されるため、摩擦を低減させる必要があります。また、摩擦力の増減を制御することができれば、マイクロマシンの運動自体の制御につながり、用途の拡大や機能性の向上が期待できます。これまで、摩擦力の低減により運動性能を向上させる目的で、マイクロマシンの主な材料であるシリコン基材にダイヤモンドライクカーボン、自己組織化単分子膜、フッ素系有機膜などをコーティングする技術が目立ってきました。しかし、これらのコーティングは、一旦材料が決まると、その材料の組み合わせに起因して摩擦係数が決定されるために、コーティング後に摩擦力を制御することは困難でした。
3. 本研究グループは、光の照射によって、物質間の摩擦力を制御する全く新しい手法を創出しました。有機分子をコーティングしたカンチレバー（片持ち梁）探針とサファイア基板との間で生じる摩擦力の大きさを、走査型プローブ顕微鏡技術の一つである摩擦モードを用いて測定したところ、レーザー光を測定場所に照射することで、摩擦力が約 15%増大することを明らかにしました。さらに、レーザー光の ON-OFF により繰り返し摩擦力を増減することができました。
4. 今回見出された光による摩擦力制御は、マイクロマシンの運動制御を可能としたり、摩擦の基礎メカニズムの解明に寄与する結果と考えられます。また、今回は光によるナノレベルの摩擦力の制御ですが、今後はマクロレベルの摩擦現象の制御へも展開されることが期待されます。
5. 本研究成果は、英国時間の 2016 年 12 月 8 日、Applied Physics Express (APEX) 誌に掲載されます。また本成果は、科学研究費補助金（挑戦的萌芽研究：26630042）（研究代表者：後藤真宏）の助成により得られました。

研究の背景

ナノスケールレベルの摩擦力を変えることは、マイクロマシンなどの微小な駆動部の運動に直接大きな影響を与えることから、精力的に研究が行われてきました。機械が微小になればなるほど、その体積に対する表面積の比が大きくなることから、運動時における凝着力の及ぼす影響が非常に大きくなります。スムーズに運動を行うためには、この凝着力を小さくする必要があり、そのために、基盤材料のシリコンにダイヤモンドライクカーボン、自己組織化単分子膜、フッ素系有機膜などをコーティングすることで摩擦力を低減する技術が開発されてきました。しかしながら、これらのコーティングは摩擦力を低減させる効果はあったものの、一旦材料を選択すると、その材料の組み合わせに起因して摩擦係数が決定されるために、コーティング後に摩擦力を制御することは困難でした。もし、何らかの外場の影響により、人為的にこの摩擦力を可逆的に変化させられれば、マイクロマシンの運動を制御できる可能性があります。また、この人為的な摩擦力変化は、運動の制御のためにレスポンスが速いことが合わせて要求されます。

研究成果の内容

本研究グループは、真空中において有機分子にレーザー光を照射することにより、それら分子を電子励起状態にし、固体基板との間に生ずる凝着力を変化させ、摩擦力の大きさを変化させることが可能であるかという点に着目し研究を行いました。その結果、レーザー光の ON-OFF により、繰り返し摩擦力が変化することを発見しました。

具体的な実験方法は以下の通りです。ナノレベルの摩擦力を測定する方法に、走査型プローブ顕微鏡技術の一つである摩擦顕微鏡 (Friction Force Microscopy (FFM)) があります。これは、カンチレバー (片持ち梁) と呼ばれる短冊状の小さなシリコン板に、微小なシリコン突起 (Tip) が付いた探針を基板表面に近づけ、一定の荷重を保ちながら横方向に動かし、その時に発生する摩擦力によりカンチレバーに生ずるねじれの大きさによって摩擦力を測定するものです。この探針の先端部に、有機分子の一つであるクマリン 6 分子をコーティングしました (図 1)。今回の実験で用いるコーティング材は、光照射による分子の劣化が少なく、効率よく光を吸収する材料が望ましく、通常は色素レーザーの発振源に用いられるクマリン 6 分子を使用しました。基板にはサファイアを用い、光照射はサファイア基板の下方からレーザー光 (波長: 405 nm、光強度: 100 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 、連続光) を導入することで行いました。チャンバー内の真空は、 2×10^{-4} Pa としました。走査スピード、走査長は、それぞれ、2 $\mu\text{m}/\text{s}$ 、10 μm としました。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します。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します。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ります。図 3 には、この摩擦力の変化について、クマリン 6 分子の有無、荷重依存性を示します。クマリン 6 分子が付いていない場には、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ります。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ます。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りました。さらに、13nN 以上に荷重を印加すると、繰り返し光照射前の摩擦力に復元しないことがわかりました。これは、荷重が増加したことにより、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ます。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 に低減されることもわかりました。

波及効果と今後の展開

今回、本研究グループは、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ました。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光照射で制御できる可能性があります。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ます。

【用語解説】

1) マイクロマシン：

構成される部品大きさが数ミリメートル以下である非常に微小な機械のこと。

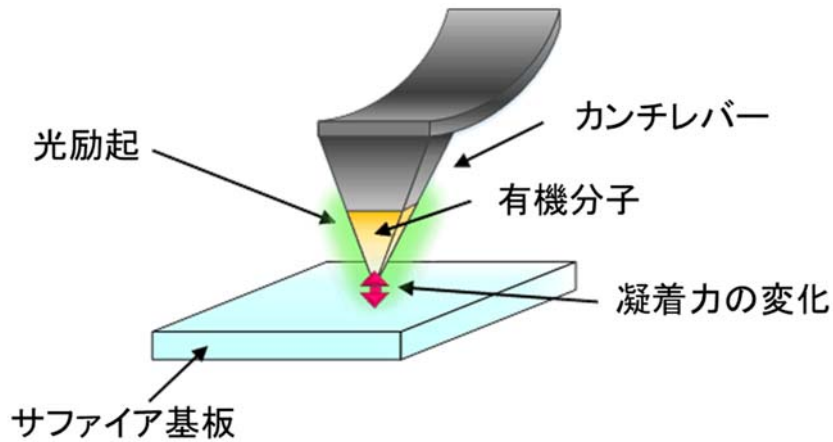


図1 光照射による分子と基板間の摩擦力測定イメージ

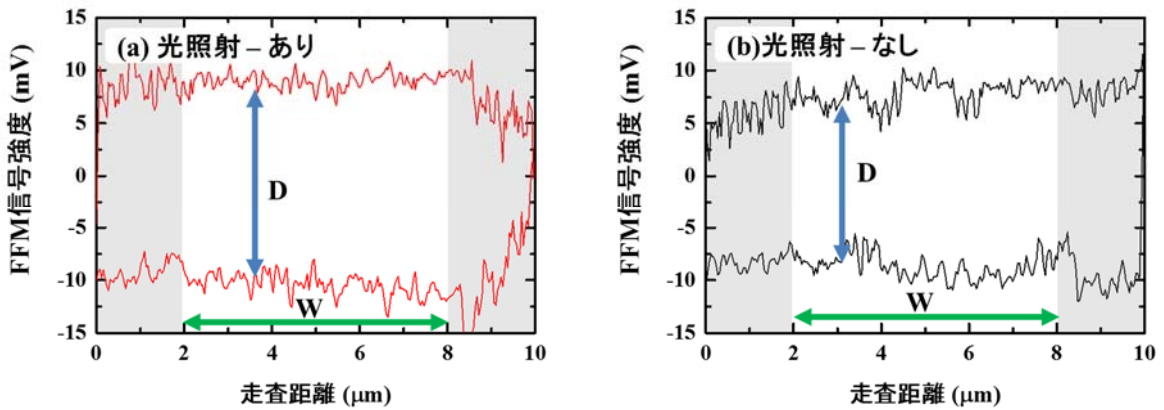


図2 クマリン6分子とサファイア基板間における摩擦測定例 (フリクションループ測定)
 (a)レーザー光照射時、(b)レーザー光遮断時、D/2が摩擦力の大きさに対応

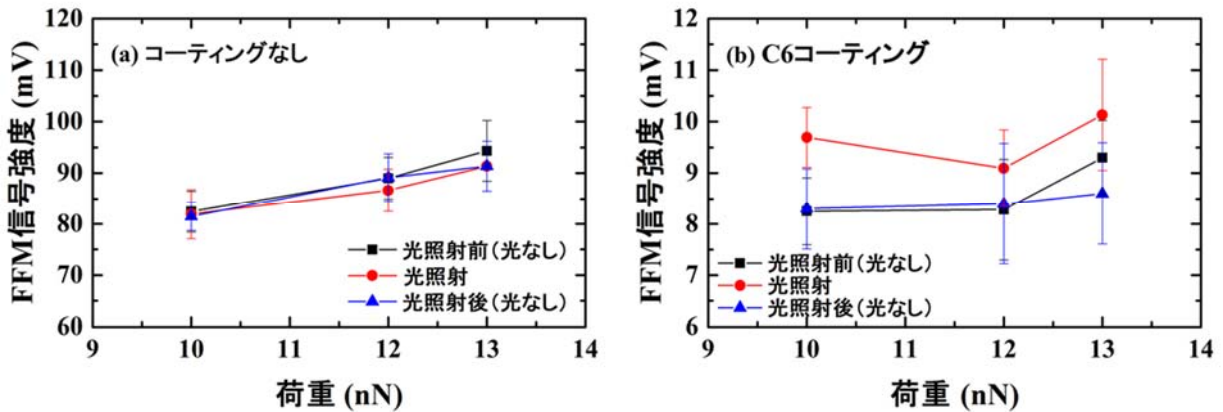


図3 クマリン6分子の有無、荷重の大きさ、レーザー光の照射の有無による摩擦力の変化
 (a)クマリン6分子無し、(b)クマリン6分子あり

本件に関するお問い合わせ先

(研究内容に関すること)

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 熱電材料グループ 主席研究員
後藤 真宏 (ごとう まさひろ)
〒305-0047 茨城県つくば市千現 1-2-1
TEL : 029-859-2746, FAX : 029-859-2746
E-mail: GOTO.Masahiro@nims.go.jp

国立研究開発法人物質・材料研究機構
情報統合型物質・材料研究拠点 伝熱制御・熱電材料グループ NIMS 外来研究員
佐々木道子 (ささき みちこ)
TEL : 029-851-3354 (ext. 3734)
E-mail: SASAKI.Michiko@nims.go.jp

(報道担当)

国立研究開発法人物質・材料研究機構 経営企画部門広報室
〒305-0047 茨城県つくば市千現 1-2-1
TEL:029-859-2026 FAX : 029-859-2017
E-mail: pressrelease@ml.nims.go.jp