



配布先: 文部科学記者会、科学記者会、名古屋教育記者会

2026年6月1日

報道機関 各位

コンピュータでナノの凹凸を自在に操るディスプレイ 微小物体を動かすナノマシンで医療・ものづくりへの応用に期待

【本研究のポイント】

- ・ナノの表面凹凸形状をコンピュータ制御で動的に書き換えることができる世界初のディスプレイを開発した。
- ・コンピュータから制御した電場で、ナノ薄膜を隆起させ自在に表面凹凸をつくることができる。
- ・動く凹凸で微小物体を動かすことに成功し、形状や力の書き換えができるナノマシンへつながる可能性がある。

【研究概要】

名古屋大学大学院工学研究科の佐々木 建 博士後期課程学生・日本学術振興会特別研究員 DC1 (研究当時)と星野 隆行 教授らの研究グループは、酸化グラフェン^{注1)}とピレン^{注2)}から構成されるナノ薄膜の凹凸形状をコンピュータ制御により動的に形成/書き換えられるディスプレイを開発しました。また、形成した動く表面凹凸を用いて微小物体を推進操作することに成功しました。

近年、マイクロ・ナノ構造体表面の凹凸形状を瞬時に形成/変化させる技術は、物体間の接触状態や摩擦の制御を用いたナノロボティクスへの応用、あるいはエネルギー変換の高効率化につながる技術として注目されています。しかし、従来の手法は、マイクロからナノの広い空間スケールにわたって表面の凹凸形状を瞬時に形成/変化させることは困難でした。

本研究グループは、これまで SiN 基板に集束電子線(EB)^{注3)}を走査することで、電場パターンを呈示するバーチャル電極(VC)ディスプレイを開発してきました。本研究ではこれを用いて、静電気力によりピレン結合型の酸化グラフェン(pyGO)薄膜を変形させ、ナノスケールの凹凸形状を形成することに成功しました。静電気力による圧力が pyGO 薄膜に加えられると、pyGO 薄膜が押し上げられ、ナノスケールの隆起形状が瞬時に形成されます。加える電場パターンの形や時間をコンピュータから制御することで、生成した凹凸形状を書き換え動かすことができました。この動くナノ凹凸形状を駆動力とすることで、微小物体を推進操作できることを明らかにしました。

今回の成果は、物体の表面形状や摩擦状態を自在に制御/駆動できる技術であり、コンピュータから物理的実体を生成する「バーチャル ナノマシン」の開発へつながることが期待できます。

本研究成果は、2026年4月28日付で米国の学術雑誌『ACS Applied Materials & Interfaces』オンライン版に掲載されました。

【研究背景と内容】

物体のマイクロ・ナノスケールの表面凹凸形状は、表面活性や摩擦/摩擦特性や接着などの機械的性質を支配する重要なものです。そのため、マイクロ・ナノスケールの表面凹凸形状を瞬時に形成/書き換えられる技術が実現すると、工学技術だけでなく、生物分野など界面の接触に関わる幅広い分野で貢献する技術となります。

従来行われてきた表面凹凸形状を操作できるディスプレイ技術としては、光や電気刺激応答性の薄膜に可逆に表面凹凸形状を形成する技術が報告されていますが、応答時間の遅さや空間パターンの制約などがありました。そのため、マイクロ・ナノスケールの表面形状を瞬時にかつ自在に凹凸形状へ変化させられる新たな凹凸呈示ディスプレイ技術が必要でした。

本研究グループは、これまで窒化ケイ素(SiN)薄膜に集束された電子線(EB)を走査し、電場パターンを動的に呈示するディスプレイ技術の開発を行っており(5頁「関連するプレスリリース情報」参照)、今回さらに、ピレン結合型の酸化グラフェン(pyGO)ナノ薄膜を本ディスプレイに貼り、電場パターンの静電気力により駆動される凹凸呈示ディスプレイ技術を開発しました。

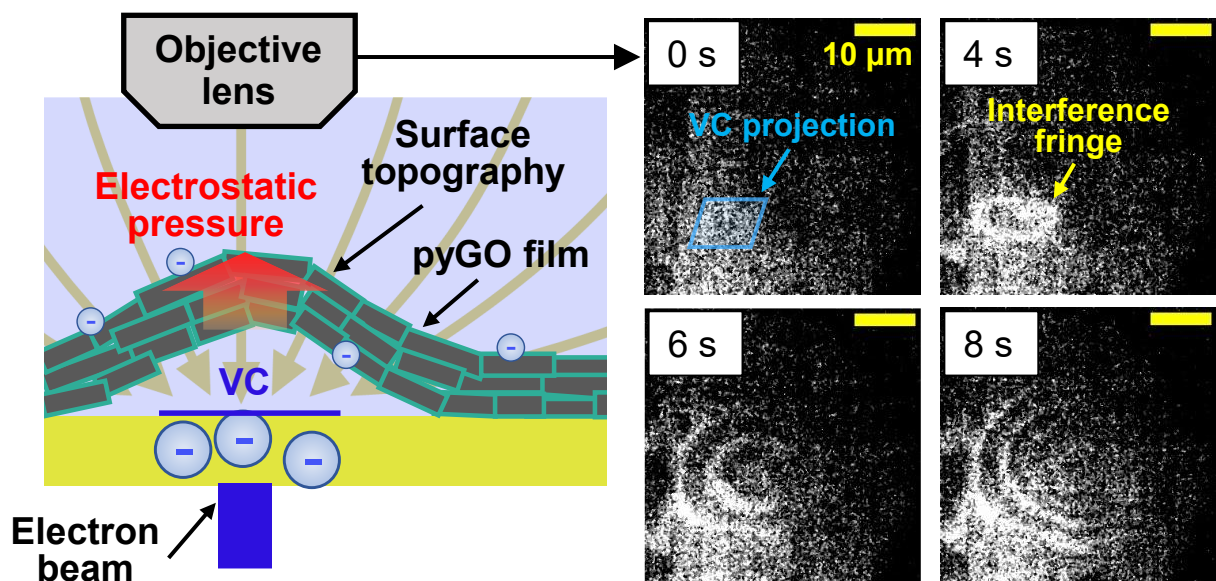


図1 電場パターンの呈示による凹凸形状呈示ディスプレイの概要。SiN 薄膜上に照射した EB により VC を投影し、ディスプレイ上に貼った pyGO 薄膜に静電気反発力を与える。pyGO 薄膜は、SiN 薄膜から局所的に剥離し、マイクロ・ナノスケールの凹凸形状が隆起する。隆起した三次元形状は、光干渉縞^{注4)}として観察・計測できる。詳細な動きは、発表論文に掲載の動画を参照。

図1 (左)に示すように、EB 走査によって投影されるバーチャル電極(VC)は、走査部分を負に帯電させ、ディスプレイ面に貼った pyGO 薄膜(負電荷をもつ)を静電的に押し上げSiN薄膜から局所的に剥離し隆起させます。図1 (右)では、電場パターンを呈示してから約 3 秒後に pyGO 薄膜の剥離が生じ、凸形状の隆起が拡大していく様子が観察されました。今回のデータでは、マイクロ・ナノスケールの隆起高さの計測には、光干渉縞(ニュートンリング)を観察することにより変化する三次元形状を計測しました。そのため、隆起した表面ナノ凹凸形状は、光の干渉縞が等高線のように観察されます。

pyGO 薄膜に複雑な凹凸形状を出現させることを試み、ずらした位置に電場パターンを呈示して、別々に形成された凸形状をつなぎ合わせることに成功しました。図2（左）の模式図に示すように、1つの目の凸形状が生成した後、2つ目を生成すると、隆起した領域がつながりました。図2（右）では、2つの剥離領域の境界同士がつながり、時間の経過に伴い隆起形状の直径が拡大していく応答が観察されました。この結果は、電場パターンを組み合わせて設計し、複雑な凹凸形状を形成できることを示唆しており、コンピュータから電場パターンを介して自在にマイクロ・ナノスケールの凹凸形状を瞬時に形成/書き換えられることを示しています。

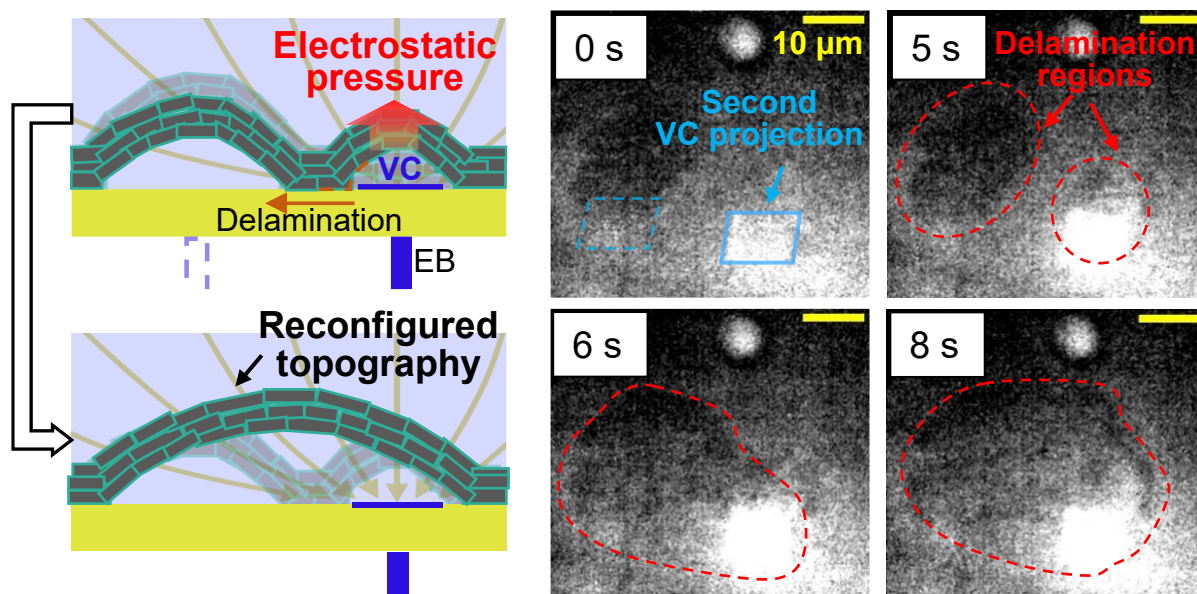


図2 pyGO 薄膜に形成される凸形状の合成。(左) 2つの凸形状合成の模式図。pyGO 薄膜上に形成された2つの凸形状の剥離領域が拡大することで結合する。(右) 隆起した剥離領域が拡大し結合するタイムラプス画像。

さらに、凹凸形状呈示ディスプレイを用いてナノ操作が可能であることを実験しました。図3に示すように、電気的に生成された隆起形状が徐々に拡大し、付近のマイクロ粒子（直径:10 μm）を拡大方向に推進駆動することに成功しました。このとき、呈示電場によりマイクロ粒子には直接静電反発力が作用しますが、それよりも50%大きな推進力が隆起形状によりはたらくことが分かりました。これにより、複雑なナノマシンの組み立てや推進操作などへの応用が期待できます。

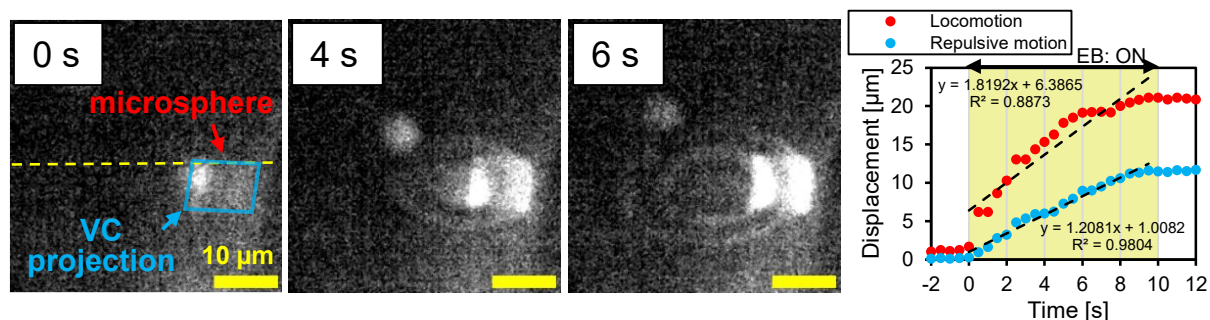


図3 形成されたナノ表面凹凸形状によるマイクロ粒子の推進操作。(左) pyGO 薄膜の隆起進行により移動するマイクロ粒子のタイムラプス画像。(右) 推進されたマイクロ粒子の重心位置。

【成果の意義】

本研究は、電場によってpyGO ナノ薄膜の表面凹凸を高速かつ可逆的に書き換えられるディスプレイを開発し、従来困難であったマイクロ・ナノスケールにおける表面凹凸の動的制御を可能にした点に大きな意義があります。これにより、表面形状に依存する摩擦・接着・界面相互作用といった物理特性を、コンピュータ制御によって自在に操作できる新たな基盤技術が確立されました。

さらに、本研究では単なる形状変化の呈示にとどまらず、動的に変化する凹凸を駆動力として微小物体の輸送・操作が可能であることを示しました。これは、機械的機能そのものを「場」として生成・制御するという新しい概念を提示するものであり、コンピュータから機械的機能を実現する「バーチャル・ナノマシン」の実現に直結する重要な成果です。

本技術は、例えば生細胞の運動制御やコロイド系の自己組織化過程の操作など、界面現象が支配的な生命・材料科学分野への応用が期待され、新たなものづくり技術への展開も見込まれます。

このように本研究は、「形状」「力」「機能」を空間・時間的に書き換えるという新しい操作原理を提示し、コンピュータから物理的機能を直接創出する次世代ナノ工学の基盤を切り拓くものです。

本研究は、日本学術振興会 科研費 22K18775、23K00078 および公益財団法人 JKA 機械振興補助事業 2024M-563 の支援を受けて行われたものです。

【用語説明】

注 1)酸化グラフェン:

原子 1 層分の厚さを持つ二次元的な炭素材料。高い導電性や熱伝導性をもつグラフェンを酸化処理することで合成され、表面にはさまざまな酸素官能基を持っている。溶液への分散性が改善されたことによる細胞への分子送達や、光学特性を利用したバイオセンサなどに用いられている。

注 2)ピレン:

4 つのベンゼン環から成る多環芳香族炭化水素(PAH)の一種。平坦な分子構造を持つことで、二次元材料の炭素骨格と容易に π 結合するため、分子間の非共有結合的な架橋剤として広く用いられている。

注 3)電子線(EB):

負の電荷を持つ電子を高電圧によって加速し、ナノレベルまで集束させて照射する荷電粒子ビーム。微細構造の観察や加工に用いられている。

注 4)干渉縞:

異なる光源位置から生じる光波が重なり合うことにより、光強度の強弱が明暗の縞状として観察されるもの。微小な距離計測に用いられる。

【論文情報】

雑誌名: ACS Applied Materials & Interfaces

論文タイトル: Electric Field-Driven Dynamic Surface Topography of Pyrene-Linked Graphene Oxide Multilayer Film

Press Release

著者: Ken Sasaki(名古屋大学), Hisataka Maruyama(名古屋大学), Takayuki Hoshino(名古屋大学)

DOI: 10.1021/acsami.5c22563

URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsami.5c22563>

【関連するプレスリリース情報】

- 2025年1月23日リリース

「リアルなナノ粒子を自在に操作できる世界最小 TV ゲーム 情報空間と物理空間をつなぐ複合現実ディスプレイを開発」:

<https://www.nagoya-u.ac.jp/researchinfo/result/2025/01/tv.html>

- 2025年5月15日リリース

「リアル空間に「ナノ機械」を出現させるインタフェース --デバイス作製不要で分子やナノ材料の移動、サイズ分別が可能に--」:

<https://www.nagoya-u.ac.jp/researchinfo/result/2025/05/-----2.html>



東海国立大学機構は、岐阜大学と名古屋大学を運営する国立大学法人です。
国際的な競争力向上と地域創生への貢献を両輪とした発展を目指します。

東海国立大学機構 HP <https://www.thers.ac.jp/>

