大阪大学 THE UNIVERSITY OF OSAKA　名古屋大学 NAGOYA UNIVERSITY

Press Release

研究成果　報道解禁 あり

本研究成果は論文掲載先である Communications Materials から、以下の通り報道解禁設定があります。
TV・ラジオ・WEB…11 月 20 日(金)午後 7 時（日本時間）
新　　聞　…11 月 21 日(土)朝刊（日本時間）

2026年11 月 20 日

分野： 自然科学系

キーワード： 電荷密度波、極性半導体、フレキソエレクトリック効果、局所ひずみ

針で押すだけで、半導体の極性構造を書き換え

―電源フリーで半導体 $EuTe_4$ の極性ドメインを制御―

【研究成果のポイント】

- 比較的電気を通しやすい電荷密度波※1半導体 $EuTe_4$ で、向きが 90°異なる面内の極性ドメイン※2を、偏光顕微鏡と光第二高調波発生(SHG)※3測定により可視化。
- 先端曲率半径約 1 μm の針で結晶表面を押すと、くさび状の領域にドメインの変化が生じ、再び押すことで、書き込み・消去に似たドメイン変化が現れることを室温で観測。
- 電圧をかけず、局所的な力によって極性ドメインを再構成できることを示し、将来の省電力・多機能デバイスへつながる基礎成果となることに期待。

❖ 概要

大阪大学大学院基礎工学研究科の髙橋英史准教授、石渡晋太郎教授、名古屋大学大学院工学研究科の中埜彰俊講師らの研究グループは、電荷密度波(CDW)と呼ばれる特殊な電子状態をもつ層状半導体 $EuTe_4$ において、微小な針の力により極性ドメインの局所的な再構成に成功しました。極性ドメインとは、結晶の内部で電気的な偏りをもつ構造の向きがそろった領域です。

強誘電体や極性材料では、結晶中の極性ドメインを制御することで、低消費電力メモリーや多機能デバイスへの応用が期待されています。しかし、従来の電場制御では高電圧が必要であり、特に電気を流しやすい伝導性材料では漏れ電流が大きな問題となるため、電圧を使わない新しいドメイン制御法の開拓が課題でした。

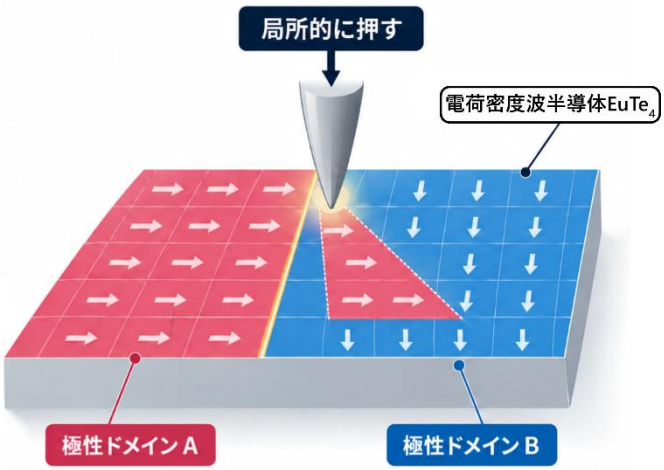

図1 $EuTe_4$の結晶表面を局所的に押すことによるドメイン変化の概念図。赤色と青色は異なる極性構造をもつドメインを表し、くさび状領域は機械刺激によって再構成された領域を模式的に示す。

本研究では、電荷密度波半導体 $EuTe_4$ に着目しました。$EuTe_4$ は、電荷密度波に伴う Te 原子の三量体歪みにより反転対称性が破れ、面内極性ドメインを形成する一方、室温抵抗率が 10 mΩcm 程度の比較的伝導性をもつ狭ギャップ半導体です。偏光顕微鏡、二次元複屈折イメージング、光第二高調波発生(SHG)測定により、$EuTe_4$ における面内極性ドメインを可視化し、隣接ドメイン間で面内極性方向が 90°異なることを確認しました。さらに、先端曲率半径約 1 μm の針で結晶表面を局所的に押すと、接触点から伸びるくさび状のドメインコントラストが形成されることを見いだしました(図1)。このドメインは電荷密

度波に結合した極性／構造ドメインの再構成を反映していると考えられます。また、再度の局所機械刺激により、既存のドメインコントラストが消失し、新たなドメインコントラストが現れる書き込み・消去に似た応答も観測しました。

本成果は、電場ではなく「押す」「こする」といった局所的な機械刺激によって、比較的伝導性をもつ材料中の極性ドメインを再構成できる可能性を示すものであり、歪み・応力を利用した新しい物性制御の道を開く基礎研究成果です。将来的には、伝導性材料における電子状態、極性構造、ドメイン壁などを力学的に制御する新しい機能材料開発につながる可能性があります。

この成果は、英文誌 Communications Materials の 2026年 11 月号に掲載されます。

【高橋英史准教授のコメント】
電気を比較的通しやすい物質でも、微小な力によって極性ドメインの配置を変えられることが分かりました。電子の動きと結晶の極性構造が結び付いた新しい機能性材料を探るうえで、今回の成果が一つの出発点になればと考えています。

❖ 研究の背景

結晶の内部にある極性ドメインを操ることは、メモリーやセンサーなどの新しい機能を生み出すうえで重要です。しかし、電気を通しやすい物質では、電圧を加えると漏れ電流が生じるため、ドメインを電気的に操作することが難しくなります。

一方、針などで結晶の一部に力を加えると、局所的なひずみが生じます。このひずみの大きさが場所によって異なる「ひずみ勾配」はフレキソエレクトリック効果を通じて結晶の電気的な分極と結び付くため、電圧を加えずに極性構造を変化させる手段として注目されています。ただし、これまでの研究は電気を通しにくい強誘電体が中心であり、比較的高い導電性をもつ結晶での実証例は限られていました。

今回対象とした $EuTe_4$ では、厚さ方向に重なったテルル(Te)原子層に、電荷密度波による原子の三量体(トライマー)が形成されます(図2a)。この Te 原子の変位が反転対称性を破り、面内で向きの異なる極性構造を生み出します。さらに、この物質は室温の電気抵抗率が約 10 mΩcm と、一般的な絶縁性強誘電体より電気を通しやすい点が特徴です。

❖ 研究の内容

研究グループは、まず偏光顕微鏡と二次元複屈折測定を用いて、$EuTe_4$ に明瞭な縞模様のドメインが存在することを見いだしました(図2b)。さらに、極性構造に敏感な光第二高調波発生(SHG)を測定し、隣り合うドメインでは面内の極性軸の向きが 90°異なることを確認しました。

次に、先端曲率半径約 1 μm の針で結晶表面を局所的に押しました(図2c)。その結果、押し込み点から幅は約 1 μm、長さは約 7 μm のくさび状に伸びた領域で偏光顕微鏡のコントラストが変化しました(図 2d)。反射複屈折から求めた光学主軸の方位は約 60°変化し、押し込み後の SHG コントラストも変化していることが分かりました。さらに、作られたくさび状領域の近くを再び押すと、元のドメインの光学コントラストが消失し、近くに新たなコントラストが現れました(図2e)。第一原理計算により、$EuTe_4$の電荷密度波構造の安定性が異方的なひずみに敏感であることが示されました。

これらの結果から、局所的な応力・ひずみによって構造ドメインの安定性が変化する「強弾性様の機構」と、ひずみ勾配が極性構造に作用する「フレキソエレクトリック効果※4」の両方が、ドメイン再構成に寄与している可能性が考えられます。ただし、現段階では両者の寄与を定量的に分離できておらず、主要な機構の特定は今後の課題です。

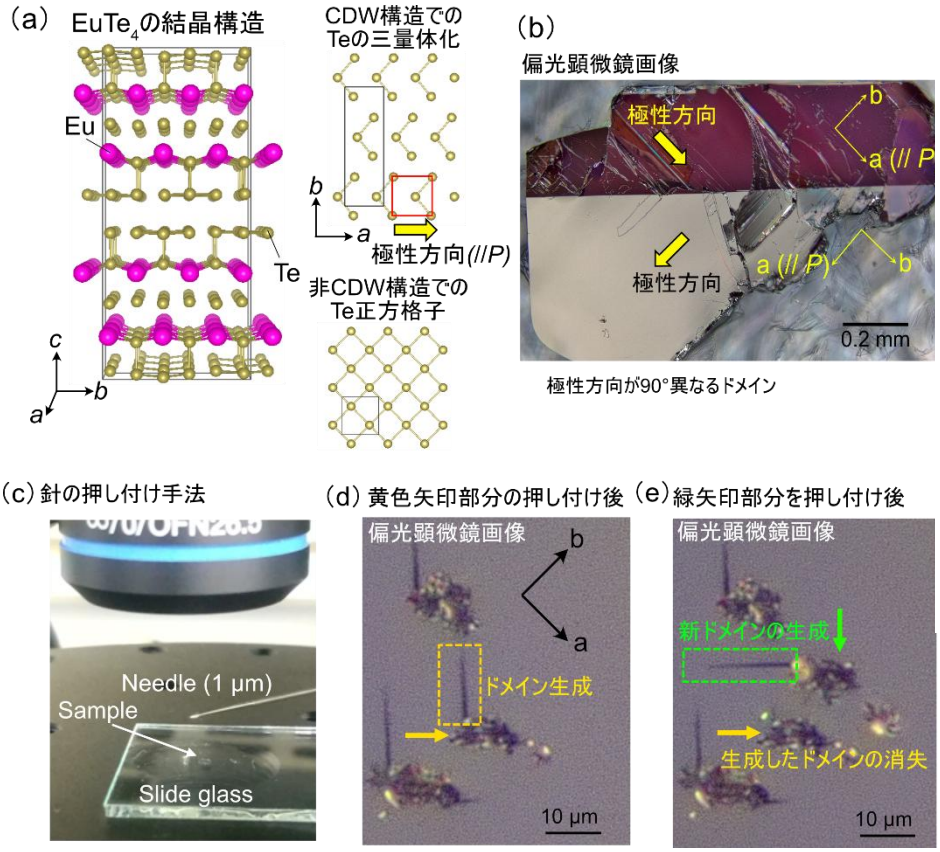

図 2 $EuTe_4$の極性ドメインと局所機械刺激による再構成。(a)$EuTe_4$の結晶構造と電荷密度波に伴う Te 原子の三量体化。(b)偏光顕微鏡で観察した極性方向が約 90°異なるドメイン。(c)針を用いた局所押し込みの実験写真。(d)1 回目の押し込み後に形成されたくさび状のドメインコントラスト(黄色矢印)。(e)2 回目の押し込み後の偏光顕微鏡画像。黄色矢印付近では既存のコントラストが抑制され、緑色矢印付近では新たなコントラストが現れた。

❖ 本研究成果が社会に与える影響(本研究成果の意義)

本成果は、電気を比較的通しやすい半導体でも、外部から電圧を加えずに、押す力だけで極性を伴うドメイン構造を局所的に変えられることを示したものです。これまで絶縁体が中心だった機械的ドメイン操作を、電子が動きやすい物質へと広げる重要な一歩となります。今後、必要な力の定量化、再構成の再現性や保持時間の評価、電気的・光学的な読み出し手法の開発が進めば、省電力メモリーや機能を書き換えられる電子材料に向けた研究につながる可能性があります。

❖ 特記事項

本研究成果は、英文誌 Communications Materials の 2026 年 11 月号に掲載されます。

タイトル:“Indentation-induced polar domain reconfiguration in the charge-density-wave semiconductor $EuTe_4$”

著者名:Hidefumi Takahashi*, Yuki Umewaka, Kiichiro Yoshida, Ritsuto Nakamura, Akitoshi Nakano, Takao Matsumura, Daiki Sekine, Masakazu Matsubara, Masayuki Ochi, and Shintaro Ishiwata

DOI:10.1038/s43246-026-01410-8

なお、本研究は、科学研究費助成事業(KAKEN)「アシンメトリ量子物質の開拓」、「非対称外場を用いたトポロジカル半金属での電気機械応答の開拓」、「ポストスピントロニクス創成に向けた準安定強相関物質の網羅的開拓」、「量子金属における創発現象の相関設計」、(JP23H04871, JP24K00570, JP25H00420, and JP25H01248,)、JST 創発的研究支援事業「トポロジカル量子材料におけるフ

レキソエレクトロニクスの確立」（JPMJFR236K）、矢崎科学技術振興記念財団、旭硝子財団の一環として行われました。

❖ 用語説明

※1　電荷密度波

物質内の電子密度が空間的に周期変調する状態。原子配列の周期的な変位を伴うことがあり、結晶の対称性や電気・光学特性に影響を及ぼします。

※2　極性ドメイン

結晶の内部で、反転対称性の破れた極性構造の向きがそろっている領域。本研究では、$EuTe_4$ の面内で約 90°異なる極性軸をもつ領域が観測されました。

※3　光第二高調波発生（SHG）

物質に光を当てたとき、入射光の2倍の周波数の光が生じる非線形光学現象。結晶の反転対称性の破れに敏感で、極性構造やドメインの違いを調べる手掛かりになります。

※4 フレキソエレクトリック効果

結晶のひずみの大きさが位置によって変わることを「ひずみ勾配」といいます。ひずみ勾配と電気的な分極（極性）が結び付く現象をフレキソエレクトリック効果といい、局所的な押し込みによって生じ得ます。

❖ 参考 URL

髙橋　英史准教授　研究者総覧 URL

https://rd.iai.osaka-u.ac.jp/ja/4c9bc080df887b4f.html

❖ 発信先　報道機関

大阪大学から　大阪科学・大学記者クラブ、文部科学記者会、科学記者会

名古屋大学から　名古屋教育記者会