スマートデバイス、フレキシブル素子、高性能電池

化学合成したホウ素単原子層物質（化学ボロフェン）の開発

工学研究科　附属フューチャーイノベーションセンター
准教授 **神戸 徹也**
Researchmap https://researchmap.jp/kambe

研究の概要

本研究においてホウ素を骨格とする二次元材料（化学ボロフェン）を液相で合成した。本材料は、遷移金属や炭素を全く用いない、完全に新しいタイプの単原子層材料である。X線回折や分光分析により構造と結合状態を明らかにし、面内のみが金属的な異方的電子状態を有することを示した。また、化学ボロフェンの末端部位を化学反応させることで液晶機能が発現することを確認した。さらに、層間に存在するイオンの移動を制御することで、静電容量を飛躍的に向上させる機能の発現にも成功した。

研究の背景と結果

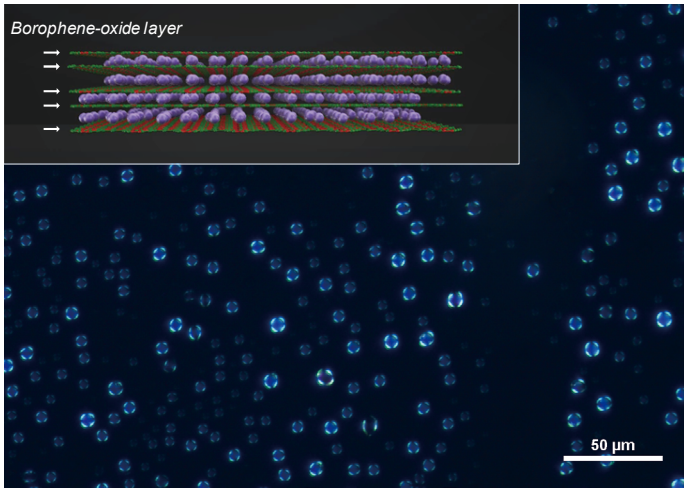
無機材料は、有機液晶と比較して熱的および化学的安定性が高いことが特徴であり、電子デバイスなど様々な応用が期待され研究されている。特に無機ナノシートは広い表面積やデバイスへの応用のし易さから注目を集めている。例えば、高い比表面積や面内方向のイオン導電性、および優れた電気化学特性が期待されている。こうした無機ナノシートの合成は、層状化合物からの剥離による手法が知られており、盛んに研究されてきた。合成方法としては層状化合物からの剥離による合成のみならず、分子からの構築も報告されており、高真空下において基板上に成長させるエピタキシャル合成は有名である。高真空下において基板上に成長させるエピタキシャル合成は有名である。

本研究では，分子から化学的に合成されたホウ素原子を骨格とする単原子層物質（化学ボロフェン）およびその積層材料の合成、構造、液晶特性について検討した。この物質の特徴は二次元構造が単原子層の厚さにある点にある。これは通常の無機ナノシートよりもグラフェンなどの単原子層材料に類似している。そして、構成元素がホウ素であるためボロフェンの類縁体とみなせる。

ボロフェン類似骨格は水素化ホウ素カリウムの部分酸化反応によって、反応速度と結晶化の速度を制御することで層状結晶として合成した。結晶は1 cm 程度の長さまで成長できることが分かった。得られた層状結晶を嫌気下で加熱すると、105 °C から120 °C にかけて結晶から液晶に変化した。この変化を追跡したところ脱水反応が起きていることが示された。また得られた液滴を偏光顕微鏡で観察すことで、球晶の配向が確認された。得られた液晶を用いた電圧駆動型の光学デバイスを作成して特性を評価した。化学ボロフェン液晶に1 V 以上の電圧を印加すると、動的散乱挙動が発現し、これを利用した光学デバイスを作成した。作成した光学デバイスは130～280 °C の広い温度範囲で動作した。さらにこの液晶を電極間に導入することで流動性の低い液晶相において静電容量が10^5倍以上増幅することを見出した。

研究の意義と将来展望

典型元素からなる二次元物質は、ポストグラフェン材料として注目されている。しかしこれまで研究されてきた物質は安定性に課題があり、材料としての開発は困難であった。本研究で開発した化学ボロフェンは、常圧での液相合成が可能であり、構成元素の変更も可能であることから、材料としての大きな発展が期待できる。また、無溶媒下で液晶性を発現できる初の無機材料であり、過酷な環境や強光に対応可能な液晶素子への応用も期待される。さらに、デバイス機能に関する成果は、電子的機能と構造的柔軟性を同時に制御可能な二次元材料の開発を可能にし、高性能キャパシタや応答性デバイスなど、次世代機能性材料・デバイスへの応用展望を示すものである。



化学ボロフェン積層体の構造と、その液晶の偏光顕微鏡画像

特許	特開2022-151934、特許第6829920号、特許第6656564号、PCT/JP2019/003380、特許第6656563号
論文	Kambe, Tetsuya et al. Capacitance enhancement by ion-laminated borophene-like layered materials. Nature Communications. 2025, 16, 1073. doi: 10.1038/s41467-024-55307-6 Kambe,Tetsuya et al. Liquid crystalline 2D borophene oxide for inorganic optical devices. Nature Communications. 2022, 13, 1037. doi: 10.1038/s41467-022-28625-w
参考URL	http://www.chem.eng.osaka-u.ac.jp/masaoka_lab/kambe/kambe.html
キーワード	ホウ素、単原子層材料、無機液晶、ボロフェン