



Tokyo Tech



2022 年 2 月 24 日

報道機関各位

東京工業大学

科学技術振興機構(JST)

神奈川県立産業技術総合研究所(KISTEC)

無機物のみで形成された液晶デバイスの開発

ーボロフェン類似物質からなる高温駆動が可能な液晶を発見ー

【要点】

- ボロフェン類似物質からなる高温駆動する液晶の合成に成功
- 有機液晶にはない高い熱安定性を実現
- フレキシブルな無機物を用いた熱耐性光学デバイスを実証

【概要】

東京工業大学 科学技術創成研究院の神戸徹也助教、山元公寿教授らの研究グループは、同研究院の宍戸厚教授、久保祥一准教授らの研究グループ、神奈川県立産業技術総合研究所の Yan Dongwan（エン・トウエン）博士研究員と共同で、ボロフェン（用語 1）に類似した、ホウ素（用語 2）の単原子層からなる新物質（ボロフェン類似物質）が**液晶**（用語 3）材料となることを発見し、高温で駆動できる光学デバイスになることを実証した。

ボロフェンはポストグラフェン材料として期待されている物質である。当研究グループはこれまでに、ボロフェンに類似した、単層のホウ素ネットワーク構造を有する新規材料（**化学ボロフェン**）（用語 4）を開発している。本研究では、この化学ボロフェンの末端部位を**脱水反応**（用語 5）により立体化させると、液晶機能が発現することを発見した。化学ボロフェンはホウ素と酸素、アルカリ金属のみからなる**無機物**（用語 6）であり、高い安定性が長所である。そのため、今回新たに開発した無機物のみから形成される液晶は、既存の有機液晶では駆動できない高温条件などの過酷な環境で動作する新たなデバイス素子としての応用が期待される。

研究成果は 2 月 24 日発行の *Nature Communications*（ネイチャー・コミュニケーションズ）に掲載される。

●背景

液晶は現在様々な用途で利用されている機能材料であるが、流動性と結晶性を兼ね備える液晶素子の開発は、これまで有機物から合成されるものに限られていた。有機物、特に有機分子から作られる液晶は、分子設計によって特性を制御できる可能性がある一方で、液晶として駆動できる温度範囲が限られてしまうことが問題になっていた。こうした液晶を無機物で合成できれば、安定性などが本質的に異なる新しい材料が実現すると考えられるが、通常は無機物は剛直であり、液晶としての駆動は見込めなかった。

本研究では、ホウ素単原子層物質であるボロフェンに着目した。ボロフェンは、特殊な物理的・化学的性質からポストグラフェン材料として期待されている。近年、気相蒸着法（用語 7）による合成が報告されていたが、当研究グループは以前の研究で、常圧大気下での簡便な方法によってその類似物質（化学ボロフェン）を合成することに成功していた。そして、この化学ボロフェンは一般的な分子とは異なり、二次元的に広がった大きな形状異方性を持っており、液体状態においても部分的な結晶性が保持されることから、液晶状態の発現が期待されていた。

●研究成果

神戸助教、山元教授らは、当グループが開発していた分子から合成できる化学ボロフェンに加熱処理を行うと結晶性が低下し、流動性が発現することで液晶になることを発見した（図 1）。各種分析を行ったところ、この液晶化がボロフェンの末端部位の脱水反応により引き起こされていることが明らかになった。

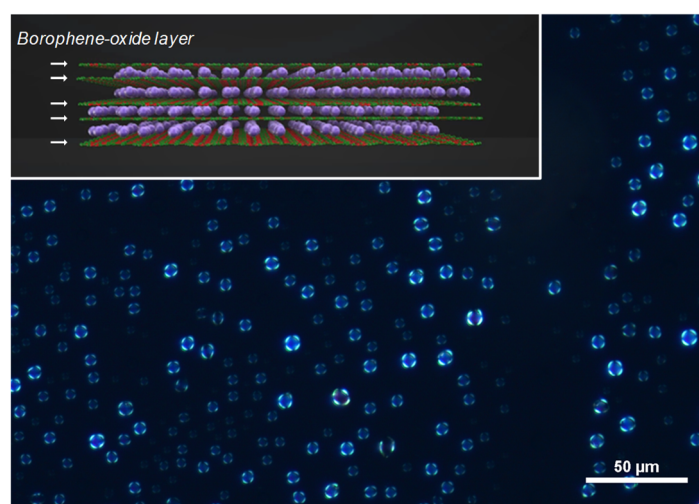


図 1. 化学ボロフェン液晶の偏光顕微鏡（用語 8）による観察像。左上が化学ボロフェンの化学構造で、白い矢印で示したものがホウ素と酸素からなる単層の化学ボロフェン。間にある紫の球はカリウムカチオンを示している。画像の球滴が化学ボロフェンであり、脱水反応で液晶化し、規則的に並び干渉が生じることで偏光顕微鏡観察において明るく観測される。

新たに開発した化学ボロフェンからなる液晶は、1) 構成元素が炭素を利用しない無機物であること、2) 構成要素が二次元原子層物質であること、の2点で通常よく知られている液晶とは大きく異なる。こうした特徴により、350℃の高温でも液晶状態が保持できることがわかった(図2)。さらに実際に電圧をかけたところ、光学デバイスとして駆動でき、これまでに扱われてきた有機材料による液晶では動作出来ないような過酷な環境においても利用できることが確認された。

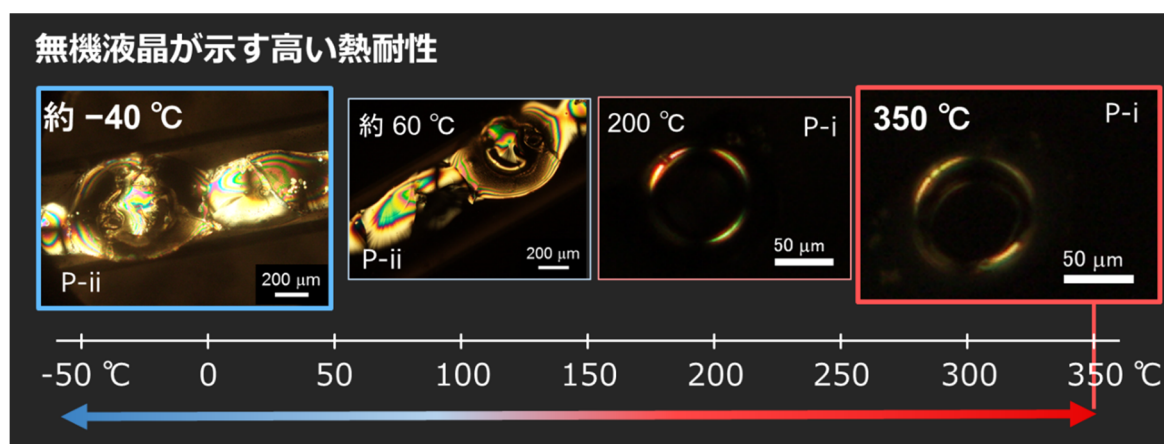


図2. 化学ボロフェンによる無機液晶の熱変化挙動。P-iiとP-iがそれぞれ異なる相であるが干渉縞が見えることで高温でも液晶性を示していることが分かる。

●研究の経緯

神戸助教、山元教授らはこれまでに、アルミニウムやガリウムからなる超原子(用語9)など、典型金属元素から構成される精密構造体の新しい機能を開拓してきた。今回の成果は、その構成元素を金属と非金属の中間の性質を示すホウ素に変更して新たに研究開発することで得られたものである。

●今後の展開

本研究で開発した無機材料からなる新しい液晶とその光学デバイスは、一般的な有機物からなるものとは安定性や耐熱性が本質的に異なるものであり、これまで動作が不可能であった高温で過酷な環境での利用が期待できる。さらに本成果の基礎となる原子層物質の低分子からの合成(用語10)は近年注目されており、構成元素の変更による様々な物性の発現も可能である。こうした新規物質は、液晶機能の利用だけでなく、様々な電子素子や吸着剤などへの応用も期待できる。さらにその液晶機能は、高温での動作を実現するだけでなく、二次元シートの配列を制御したFET(用語11)などのデバイス素子の開発にもつながるものである。

【用語説明】

- (1) **ボロフェン**：ホウ素からなる単原子層物質。ホウ素による三角格子と六角形空孔の比率によって、複数の構造が予測されている。グラフェンを凌駕する物理的・電子的物性が期待されている新物質（ポストグラフェン材料）である。
- (2) **ホウ素**：元素記号 B、原子番号 5 の元素。周期表では炭素（原子番号 6）の左隣の元素であり、共有結合だけでなく三中心二電子結合や多中心結合など特異な結合様式が可能。そのため典型金属の中でも多彩な構造を形成する。ガラスなどによく利用されている。
- (3) **液晶**：固体と液体の中間の状態で、両方の性質を併せ持つ状態。分子の位置の秩序が少なく、方向の秩序があるため、液体のような流動性と結晶のような異方性がある。
- (4) **化学ボロフェン**：ボロフェン骨格を持つ安定なホウ素原子層シート。化学原料から液相で簡便に合成できる特徴を持つ。
- (5) **脱水反応**：分子内、もしくは分子間において水分子が脱離する反応。例えば 2 つのヒドロキシル基 ($-\text{OH}$) が反応して、エーテル結合 ($-\text{O}-$) と水 (H_2O) が生成する反応。
- (6) **無機物**：一般的に炭素を多く含まない化合物の総称。鉱物や金属塩などが代表例である。
- (7) **気相蒸着法**：目的とする元素を含む物質を高真空下でガスとして供給し、基板上に薄膜として堆積させる方法。
- (8) **偏光顕微鏡**：偏光を利用して観察する光学顕微鏡。偏光特性を利用して結晶性や配向についての情報を得ることができる。
- (9) **超原子**：原子のような振る舞いをする、数個の原子からなる金属クラスター。サブナノサイズの物質が発現する新しい機能として注目されている。
- (10) **原子層物質の低分子からの合成**：近年注目されている、グラフェンのような単層物質もしくは数原子層からなる物質を低分子からボトムアップ的に合成する取り組み。主に、錯形成を利用した金属錯体ナノシートや共有結合性有機構造体を利用した物質が研究されており、原料となる低分子の設計により機能の付与や制御が可能となる。
- (11) **FET**：Field Effect Transistor の略語で、電界効果トランジスタのこと。電界によって電流の流れを制御できる素子。

【付記】

本研究は日本学術振興会科学研究費助成事業（JSPS: 20K05538, 17K05804, 21H05023, 18H05422）、科学技術振興機構（JST）戦略的創造研究推進事業 総

括実施型研究 (ERATO「山元アトムハイブリッドプロジェクト」) (JST-ERATO: JPMJER1503)、神奈川県立産業技術総合研究所 (KISTEC) 戦略的研究シーズ育成事業、小笠原財団、東京工業大学技術部すずかけ台分析部門、東京大学微細構造解析プラットフォーム、および物質・デバイス領域共同研究拠点の支援・協力を受けて行なわれた。

【論文情報】

掲載誌 : *Nature Communications*

論文タイトル : Liquid crystalline 2D borophene oxide for inorganic optical devices

著者 : Tetsuya Kambe, Shotaro Imaoka, Misa Shimizu, Reina Hosono, Dongwan Yan, Hinayo Taya, Masahiro Katakura, Hirona Nakamura, Shoichi Kubo, Atsushi Shishido and Kimihisa Yamamoto*

DOI: 10.1038/s41467-022-28625-w

【問い合わせ先】

東京工業大学 科学技術創成研究院 化学生命科学研究所 教授
山元公寿

Email: yamamoto@res.titech.ac.jp

TEL: 045-924-5260 FAX: 045-924-5260

東京工業大学 科学技術創成研究院 化学生命科学研究所 助教
神戸徹也

Email: kambe.t.aa@m.titech.ac.jp

(JST 事業に関すること)

科学技術振興機構 研究プロジェクト推進部
グリーンイノベーショングループ 調査役
加藤豪

Email: eratowww@jst.go.jp

TEL: 03-3512-3528 FAX: 03-3222-2068

(KISTEC 事業に関すること)

神奈川県立産業技術総合研究所
研究開発部 研究支援課

Email: rep-kenkyu@kistec.jp

TEL: 044-819-2034 FAX: 044-819-2026

【取材申し込み先】

東京工業大学 総務部 広報課

Email: media@jim.titech.ac.jp

TEL: 03-5734-2975 FAX: 03-5734-3661

科学技術振興機構 広報課

Email: jstkoho@jst.go.jp

TEL: 03-5214-8404 FAX: 03-5214-8432