

電子の結晶化で分極する有機強誘電体：その光学非線形性と超高速光応答

強誘電体は、ある温度（転移点）以下で電気分極する絶縁体結晶である。この分極は、外から電場をくわえることで方向転換し、その方位は電場を止めても維持される。すなわち、強誘電体は単一の物質でありながら、電気信号の“学習”・“記憶”を行い、しかも転移点以上でそれを“消去”することができる複合機能材料である。こうした性質を使いこなせば、電子デバイスの集積率と機能を飛躍的に高めることができるが、それには大きな壁が存在している。発生する分極は陽・陰イオン間の双極子にもとづくものなので、その制御とは原子がひしめく結晶の中でイオンを移動させることに他ならない。このために、半導体素子と同等以上の速度で駆動させることが大変難しい。

最近、分子科学研究所の山本薫氏と薬師久弥氏および東北大学大学院物理学科の岩井伸一郎氏らの研究グループは、有機伝導体 α -(ET)₂I₃ { ET:ピスエチレンジチオテトラフルバレン [図 1(a)] } が、従来型とは異なると考えられる強誘電機構で電気分極し、それが強い非線形光学効果を示すとともに高速で光応答することを明らかにした。この結果は、日本物理学会発行の英文学術誌 Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ) の 2008 年 7 月号に掲載される。

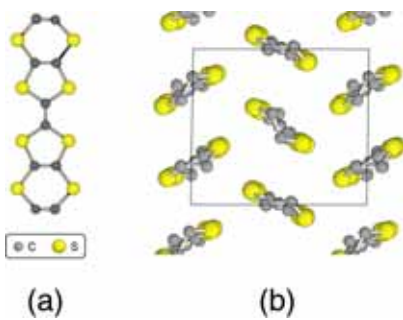


図 1 (a) ET 分子の分子構造, (b) α -(ET)₂I₃ 結晶における ET 分子の二次元配列

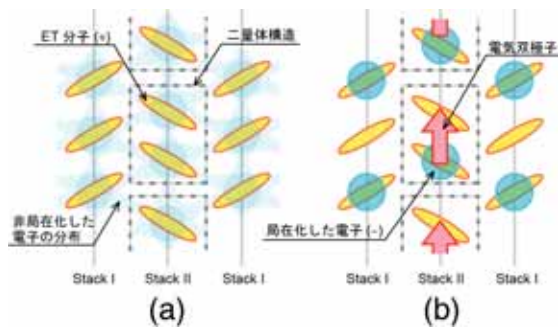


図 2 ET 分子と電子分布の模式図。波線は二量体構造をしめす。(a) 金属状態, (b) 強誘電状態

この有機結晶は、正に帯電した ET 分子が層状構造を形成し [図 1(b)], そこで伝導電子が自由に運動するために金属伝導を示す [図 2(a)]。低温でこの運動が弱まると、伝導電子は互いの負電荷による反発を感じはじめ、その反発をさけるために、遂にはウィグナー結晶とよばれる格子をつくって凍結し、結晶は絶縁体へ転移する [図 2(b)]。図 2 で示すように ET 層には 2 種類の分子列が存在し、このうち Stack II は二量体構造を形成している。ウィグナー結晶化が起きるとこの二量体内の電子がかたより、電気双極子が形成される。

通常、このような双極子がつくる静電場は、逆向きの双極子によって打ち消されてしまうが、本研究によって、 α -(ET)₂I₃ が、分極した物質のみが示す光学第 2 高調波 (SHG) を発生することが突き止められた。これは、双極子が打ち消しあわずに巨視的な領域でそ

ったことを意味する。すなわち，電子の結晶化によって直接，電気分極が発生したと考えられる。しかも，SHG の発生効率は，代表的な線形光学結晶を数十倍以上うまわることにも明らかにされた。SHG はそれ自身が重要な非線形光学機能であり，この物質が優れた光学材料の候補であることを示している。

さらに，本研究グループは，パルスレーザーの照射によって，電気分極によるこの非線形光学特性を高速にオン-オフ動作させることにも成功した。その速度は他の強誘電体よりも速く，分極の主たる起源がイオンの変位ではなく、電子のかたよりを生むウィグナー結晶化にあることを強く示唆している。すなわち，レーザーパルスによる電子励起をきっかけとして瞬時にウィグナー結晶が融解し，その後高速に電子の結晶構造が再構築されるのである。

本研究で見出された“電子の結晶化で分極する強誘電体”は，有機物としては初めて確認されたものである。特に，従来，超伝導や絶縁体 - 金属転移など、もっぱら伝導性や磁性の分野で研究が行われてきた有機伝導体において、特異な強誘電性と光学非線形性が見出されたことは大きな意味を持つものとして多くの研究者の注目を集めている。今後、物質開発とレーザー分光測定が協力的に進められることによって、有機伝導体の超高速光学非線形性という新しい側面に関する研究が、基礎、応用の両面から進展するものと期待される。

論文掲載誌： J. Phys. Soc. Jpn., Vol.77, No.7, p.074709

電子版：<http://jpsj.ipap.jp/link?JPSJ/77/074709> (6月25日公開)

< 情報提供： 山本 薫 (分子科学研究所) >