

● 次世代電子デバイスのための有機エレクトロニクス材料開発

シリコンなどの無機材料に代わって次世代の電子デバイスを実現するための有機電子光機能材料の開発を行っている。ここではその中から、金属ナノ微粒子分散液晶の開発と有機分子で制御した表面プラズモン励起と蛍光増強について述べる。すなわち、スパッタ法により液晶内への金属ナノ微粒子を簡便に均一分散させる手法を開発した。本手法を用いて、液晶ディスプレイの特性改善とコレステリックブルー相の安定化に成功した。また、液晶の外場応答性を利用して表面プラズモンの励起を制御したチューナブルプラズモニック素子を提案した。さらに、金属ナノ周期構造にbiharmonic構造を導入することにより、プラズモニックバンドギャップの発現を確認し、そのバンド端での導電性高分子の蛍光増強効果を観測した。

1. はじめに

本研究室では、液晶、共役系高分子などの分子材料を用いた、新しいエレクトロニクス・フォトンクス材料・デバイスの可能性を探求している。特に、自己組織化や大きな外場応答性などの分子の性質を積極的に活用した分子機能材料・デバイスを開発している。すなわち、自己組織性を有する液晶材料、高い電子光機能性を有する導電性高分子を中心に、次世代ディスプレイ、新規光機能デバイス、高効率薄膜太陽電池、有機レーザー、新機能フォトンクスデバイスなどの開発を行っている。本拠点においては、これらのシーズに基づいて、有機材料に基づく次世代デバイス実現のための基幹技術の開発を推進し、新材料開発の観点から教育研究を支援している。

2. 金属ナノ微粒子分散液晶の開発

液晶内に金属ナノ微粒子を均一分散させる新しい手法を開発した^[1]。一般に、ナノ微粒子の均一分散のためには、ナノ微粒子表面に適当な化学的処理を施す必要があるが、本手法では、このような前処理を一切必要とせず、種々の金属を液晶に直接スパッタすることにより、液晶内に粒径数nmの金属ナノ微粒子を直接分散させることが可能である。図1に、液晶内に分散させ作製した金微粒子の透過電子顕微鏡像を示す。分散された金属微粒子の粒径は、スパッタ時間、液晶の状態(相など)により制御できる。

また、今回開発した微粒子分散手法を用いて作製

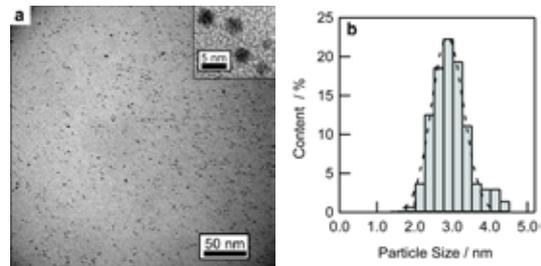


図1 直接スパッタ法により液晶内に分散した金ナノ微粒子の透過電子顕微鏡像と粒径

したナノ微粒子分散液晶において、電気光学特性を評価し、微粒子分散による特性改善が確認できた。各種金属ナノ微粒子を分散させたネマチック液晶の電気光学効果(TNモード)を測定したところ、閾値電圧が駆動周波数に依存し、向処理の時に比べて閾値が低下していることが明らかとなった。

一方、液晶内にナノ微粒子を分散させることによって新しい液晶材料開発の可能性も検討した。すなわち、ナノ微粒子を分散させることによってコレステリックブルー相の安定化に成功した。一般に、液晶のカイラリティを増大させていくと三次元螺旋構造が発現する。すなわち、液晶分子は、カイラリティによってお互いにねじれ構造を形成しようとするが、このねじれの方向は必ずしも一次的である必要はなく、液晶分子は分子軸に垂直面内のあらゆる方向にねじれようとする。しかしながら、総ての方向にねじれて三次元空間を無理なく埋め尽くすことは不可能で、必然的にトポロジカルな配向乱れ(欠陥)を含むことになる。その結果、このような配向欠

陥が共存した三次元螺旋周期構造が形成され、コレステリックブルー相 (BP) と呼ばれている。このBPは配向欠陥の存在によりエネルギー的に不安定であり、元々極めて狭い温度範囲(1~2°C)においてのみ発現していた。我々は、これまでに三次元高分子ネットワークなどの構造内にBP液晶を導入することによりBPの温度範囲拡大について報告してきた^[2]。今回、新たに開発したナノ微粒子分散手法を用いて、BP液晶に金属ナノ微粒子を分散させることにより、BP温度範囲を拡大することに成功した^[3]。特に、これまでの高分子ネットワークによる安定化が降温時においてのみ観測される準安定状態であったのに対して、微粒子分散による安定化は昇温時においても観測され、熱力学的に安定な状態が得られていることを確認している(図2)。また、微粒子分散による安定化はBPIIに置いて顕著であることも特徴である。

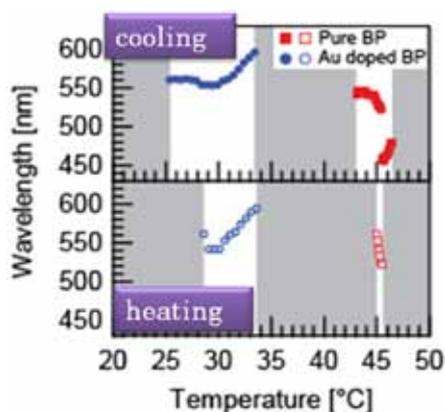


図2 金ナノ微粒子の分散によるコレステリックブルー相 (BP) の温度範囲拡大

3. 液晶によるプラズモン制御とプラズモニックバンドギャップによる分子蛍光増強

金属内の自由電子は、通常の入射光とは効率的に結合しない。しかしながら、金属表面近傍あるいは金属ナノ微粒子などの限られた条件で、光と電子の効率的な結合が実現でき、光電場の増大などの興味深い現象が観測される。この現象をそれぞれ表面プラズモン、局在プラズモンとよぶ。われわれは、このプラズモンを外場応答性の液晶を持ちることによって制御する手法を開発した。すなわち、液晶の分子配向を電界により制御することにより、金属グレーティング表面上のプラズモン励起の制御を行った^[4]。また、Biharmonic金属グレーティング構造上の導電性高分子からの蛍光を測定することにより、プラズモニックバンドギャップ(PBG)の発現を確認し(図3)、さらに、PBGのバンド端における導電

性高分子の蛍光増強を観測した^[5]。

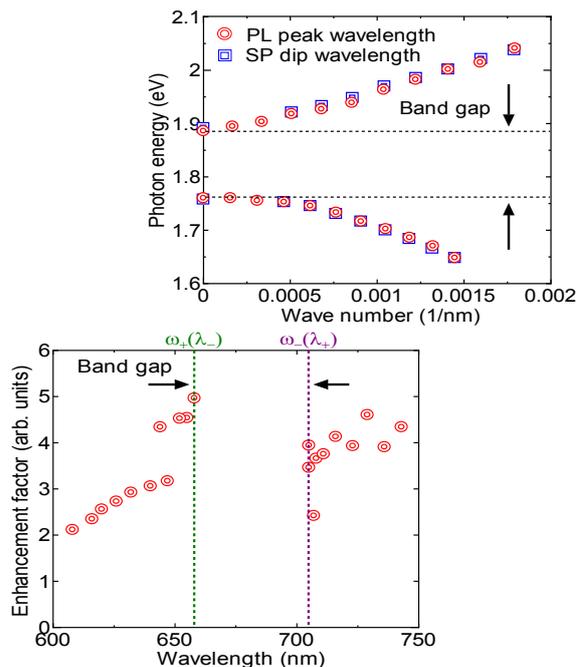


図3 Agのbiharmonic構造(周期:300nm,600nm)におけるプラズモニックバンドギャップとバンド端(λ_±)での蛍光増強

4. おわりに

当研究室では、次世代電子デバイスの基盤材料の一つと期待される有機材料の開発を通して各部門の教育研究を支援している。とくに、液晶などの自己組織化能を有するスマート分子の活用と、π共役系の発達した導電性高分子の応用をその中心テーマとしている。このような次世代新規材料により、高機能・軽量・安価・省エネルギー・低環境負荷な電子デバイスが実現されるものと確信して研究を推進している。

参考文献

- [1] H. Yoshida, K. Kawamoto, H. Kubo, T. Tsuda, A. Fujii, S. Kuwabata and M. Ozaki: *Advanced Materials*, 22 (2010) 622.
- [2] M. Ojima, T. Noma, H. Asagi, A. Fujii, M. Ozaki and H. Kikuchi: *Appl. Phys. Express*, 2 (2009) 021502.
- [3] H. Yoshida, Y. Tanaka, K. Kawamoto, H. Kubo, T. Tsuda, A. Fujii, S. Kuwabata, H. Kikuchi and M. Ozaki: *Appl. Phys. Express*, 2 (2009) 121501.
- [4] M. Ojima, N. Numata, Y. Ogawa, K. Murata, H. Kubo, A. Fujii, and M. Ozaki: *Appl. Phys. Express*, 2 (2009) 086001.
- [5] K. Murata, M. Ojima, Y. Ogawa, Y. Fujiwara, H. Kubo, A. Fujii, and M. Ozaki: *Appl. Phys. Express*, 3 (2010) 041601.