フォトニック結晶とメタマテリアルを融合した可変ハイパークリスタル

米メリーランド大（University of Maryland）カレッジパーク校と同じ州にあるタウソン大（Towson University）の研究チームは、フォトニック結晶とメタマテリアルの最も興味深い特性を融合し、全く新しい材料、ハイパークリスタルを実現した[1]。この新しい材料は、長波長赤外領域（LWIR）で相対的に、低損失の広帯域性能を示している。また、この材料は、自己組織化によって製造できる。人工の3D材料の製造が2Dリソグラフィ技術を使って簡単にできないことを考えると、この点は重要な特性である。

両方の最もよいところ

フォトニック結晶は、一般に光波長のような周期性がある一方、メタマテリアルは遙かに小さな周期性で作製できる。双曲線メタマテリアルの誘電率は、直交の方向が違えば符号も違う。これらのハイパークリスタルの製造工程は、外部の磁界をコバルトナノ粒子ベースの希釈磁性流体に適用する必要があるので、この誘電率関数は維持され、回折限界よりも遙かに小さな光波長が許されることになる。

フォトニック結晶と同様に、ハイパークリスタルは製造工程によりフォトニックバンドギャップも持つ。磁界は、自己組織化された縞（ストライプ）の周期模様を誘発する。この周期的な縞模様は、ナノ粒子リッチとナノ粒子プアに相分離したことによって起こされたものである。また縞の周期性は、双曲線周波数域のフリースペース波長よりも遙かに小さく、自己組織化光学媒体がフォトニックハイパークリスタルであることを示している（**図1**）。

さらに、ハイパークリスタルは外部磁界を使って可変でき、周期性の可変（1～2μmのオーダー）と珍しい偏光特性を持つ。相分離により、ハイパークリスタルは、「偏光ノッチ」の振る舞いを示す、これはマリュスの法則（分極電解における、偏光子の標準コサイン平方伝達角度依存）によって定義された通常の偏光子の偏光特性よりも遙かに鋭い。

研究チームによると、このハイパークリスタルはコバルトナノ粒子の単層コーティングに非常に強い感度がある。これは興味深い生物学的センシング、化学的センシングアプリケーションに帰着する特性である。実際、研究チームは、周知のLWIRフィンガープリント領域のフーリエ変換赤外（FTIR）分光学でこのハイパークリスタルを詳しく調べた。また、双曲線メタマテリアルとフォトニックハイパークリスタルにおける理論的現象も調べている。これには、サブ波長空間ソリトン（非線形光学媒体において自己集束によって形成される極細光ビーム）や空間-時間クローク（特定の場所と時間の両方で事象を隠す）が含まれる。

「可変フォトニックハイパークリスタルは、化学センシングと偏光センシングで非常に有望である。メタマテリアルの研究に新たな方向を開くものだ」とタウソン大のベラ・スモリアニノバ物理学教授は語っている。

（Gail Overton）

参考文献
(1) I. Smolyaninov and V. Smolyaninova, “Self-assembled tunable photonic hypercrystals,” SPIE Newsroom（January 9, 2015）; http://www.spie.org/x111854.xml.

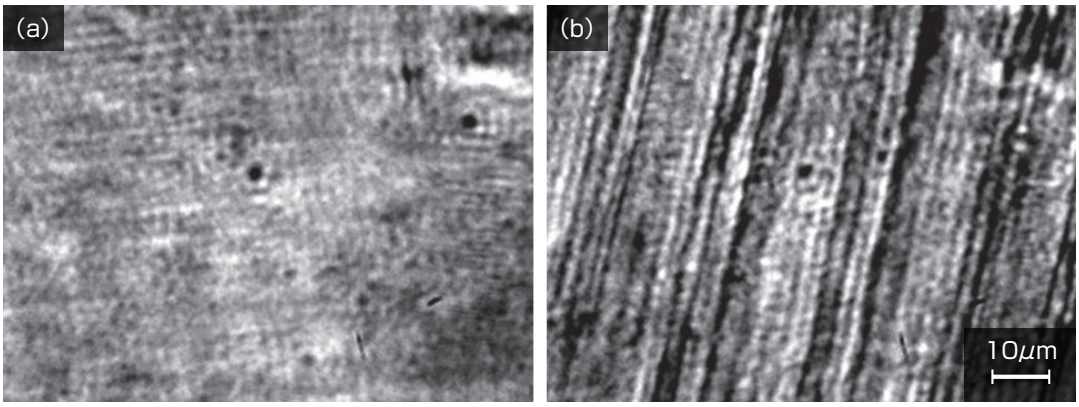

図1　顕微鏡画像は、コバルトナノ粒子ベースの希釈フェロ流体を示している。外部視界を当てる前（a）、後（b）。流体はコバルトリッチ相とコバルトプア相に分離し、自己組織化ストライプを造る。これは、磁界の方向に沿って方向付けられている（資料提供：タウソン大）。

LFWJ