

研究項目 A02：公募研究

「可溶性光メタマテリアル」

梶川浩太郎（東京工業大学）

通常メタマテリアルは、固体基板上に電子線リソグラフィや収束イオンビーム等を用いて構造を作成します。ウェットプロセスを使う場合でも、基板上に固定化した後に使われることがほとんどです。

固体基板上で機能を有する従来のメタマテリアルとは異なり、液体に可溶性光メタマテリアルを作り出すことを目的とします。「可溶」とは、熱力学的な溶解ではなく、溶液中に安定に分散されている状態を指します。この方法では、比較的容易に3次元的な性質を示す光メタマテリアルが作製できます。可溶性光メタマテリアルの作成方法方法の一例としては、図1に示すように、固体基板上に構造を作成し、それを基板から分離して溶液中に分散する方法があります。



この研究のポイントは以下の4点です。

- (1) 基板上に作成したナノ構造を保ったまま溶液中に脱離する方法を確立します。基板に無機物の塩の結晶などを用いれば脱離は容易ですが、絶縁性が良いため電子線やイオンビーム照射時のチャージアップを回避する工夫が必要です。また、ここでは、有機薄膜を用いたリフトオフによる分離方法を検討します。
- (2) 構造を液体中に安定に分散する処理方法を検討します。高分子によるキャッピングやアミノアルカンチオール等自己組織化単分子膜の表面修飾による安定化をおこないます。
- (3) 得られる溶液は極微量（0.1 μ L以下）ですが、その光学測定が可能な光学系を作製します。10⁶個のユニットを0.1 μ Lの溶媒に溶かした場合の吸光度(光学密度)は、0.02程度と見積もられます。これだけ吸光度があれば、微量でも工夫をすれば十分に測定が可能です。また、2次および3次の非線形光学効果の測定も行い、非線形メタマテリアル分野の研究をスタートします。2次の非線形光学効果は、液体のような反転対象性を持つ系では禁制ですが、磁気双極子や四重極子を起源とする2次の非線形光学効果が観測できます。基板上に作製したMIMメタマテリアルの高次の光第2高調波発生の観測結果を文献1にまとめました。
- (4) 溶液中に分散した構造の相互作用の研究 これにより有効媒質近似の妥当性を検討することができます。同じ構造で構造間距離を連続的に変えることができるため、相互作用のより詳細な検討をおこなうことができます。また、各構造の位置はランダムですから、ランダム系の物理のモデルとして、そして、ランダムレーザーの散乱材料として用いることができます。

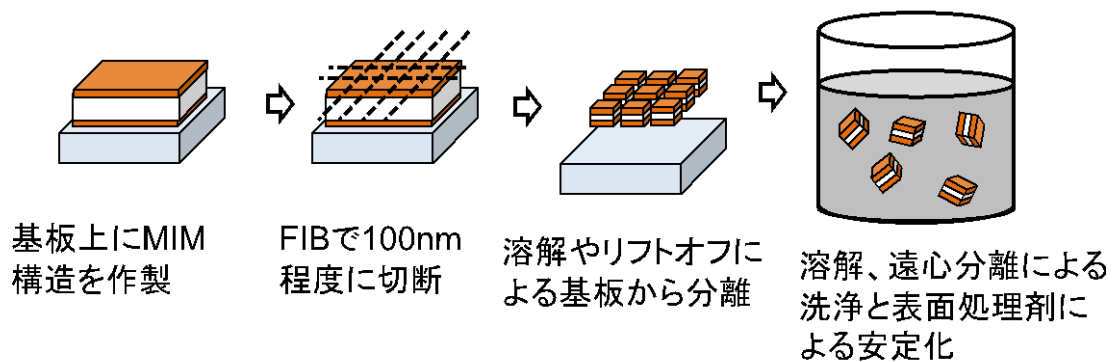


図1 可溶性光メタマテリアルの作製方法

そのほか、図2に示すようなサイズの揃った高分子やシリカ球を基板上に固定化して、その上に金属と誘電体の層状構造を作製して、それを分散した光メタマテリアル溶液の作製も研究しています。この方法の特徴は、良く規定されたメタマテリアル構造を大量に作製できる点です。そのため、この方法は基礎的な興味だけでなく、応用上も、高効率な吸収体やセンシングプラットフォームとして有用です。最近、この方法を使って作製したナノ構造の実験および計算機シミュレーションの研究成果を出版しました（文献2）。大きな吸収断面積を持つ粒子が作製できました。分子認識部位を表面に修飾して、光熱力学治療に用いることができることを示しました。

以上のように、様々な方法で液体中に分散したナノ構造による光メタマテリアルの創製および光学測定法の開発を行っていきたいと考えています。成功すれば、新しいカテゴリーのメタマテリアルを開拓できます。

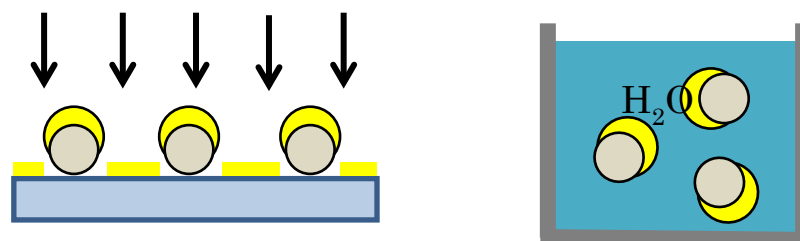


図2 シリカ球を使った可溶性光メタマテリアルの作製

文献：

1. D. Teshima, R. Fujimura, K. Kajikawa, Jpn. J. Appl. Phys. 53 (2014) 032202.
2. R. Fujimura, R. Zhang, Y. Kitamoto, M. Shimojo, K. Kajikawa, Jpn. J. Appl. Phys. 53 (2014) 035201.