

ナノ構造高次元磁性フォトニック結晶の形成とスピン依存線形

・非線形光機能

Formation of magnetophotonic crystals with nano-structured high dimensions and their spin-dependent linear and nonlinear optical functions

井上 光輝 (Mitsuteru Inoue)

豊橋技術科学大学・工学部・教授



研究の概要

本研究は、2次元・3次元のナノスケール構造を人為的に形成した磁性構造体について、完全な構造体の形成と、そのスピン依存線形・非線形光学特性を総合的に解明することで、スピン制御可能な新たな光材料の創製と、そのマイクロ光磁気デバイスへの基礎的性質を探究するものである。

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学 電子・電気材料工学／(A)電気・電子材料

キーワード：磁性フォトニック結晶，磁気光学効果，スピン，線形，非線形

1. 研究開始当初の背景・動機

数nmから数100nmのスケールで人為的構造を導入した磁性体は、構造に起因する新規の磁性と機能とを示すことから、これを工学的に利用する研究が重要な技術分野を形成している。特に、最近の情報通信技術の飛躍的な発展に伴い、情報キャリアである光(フォトン)とナノ構造との相互作用が注目されるようになった。最もよい例は、光波長オーダーで周期構造体を形成したフォトニック結晶で、フォトニック・バンドギャップ構造を利用した多彩なフォトン輸送制御が試みられている。我々は、これらフォトニック結晶に関する一連の研究とは別に、透明強磁性体にナノスケール構造を導入することで、巨大な磁気光学効果が発現することを見出し、磁性体のスピんで制御可能な新しい光学媒体の実現可能性を示した。このナノスケール構造をもつ磁性体(磁性フォトニック結晶:MPC)に関する研究は、その後JST さきがけ研究21や科研費基盤研究として展開してきたが、高次元磁性フォトニック結晶形成の難しさや、ナノ構造に基づく新規のスピン依存フォトニックバンド構造の発現など、未だ解明されていない多くの研究課題が残されている。

2. 研究の目的

本研究は、上述の研究背景を踏まえ、2次元・3次元ナノスケール構造を人為的に形成した磁性構造体について、完全な構造体の形成と、そのスピン依存線形・非線形光学特性

を総合的に解明することで、スピン制御可能な新たな光材料の創製と、そのマイクロ光磁気デバイスへの基礎的性質を探究しようとするものである。

3. 研究の方法

(1) 試料形成：1次元構造を有するMPCは、可変波長膜厚モニターを具備したRFデュアルイオンビームスパッタ装置を用いて形成した。2次元構造を有するMPCは既存の電子線露光装置を用いて作製した。3次元MPCは、パーティクルデポジション法によるサブナノ粒子自己組織化法を用いて、3次元周期構造を有する磁性構造体を作成した。また、局在プラズモン共鳴を発現させる金属ナノ粒子分散系は、金属薄膜形成用の小型スパッタ装置(SC-701MC型)を購入して形成した。周期的な微細構造は、電子線露光装置を用いて作製した。

(2) 特性評価：上述の手順で得た試料の線形光学・磁気光学特性は、波長分解能に優れたファラデー・カー効果測定装置(BH-M600VIR-FKR-TU型、ストークスパラメータ評価機構付)を購入して調べた。非線形特性は、既存のOPOレーザシステムを用いて調べた。また、試料特性の再現性確保のため、環境制御系(SH-661型)を購入した。試料切断はダイシングソー(DAD321-HE3017)を導入して用いた。

4. これまでの成果

(1) 1次元MPC：任意の光波長で光局在化

するMPCマイクロキャビティや、バンドギャップ端を利用する周期構造体を精度よく形成する技術を確立した。また、高調波側でバンドギャップを有する試料形成も完了し、これら試料について線形・非線形特性の実験・理論特性解明を完了した。この成果を踏まえ、文部科学省キーテクノロジー事業と連携して、1D-MPCベース空間光位相変調デバイスの開発を行っている。新しく、MPCとPCの界面欠陥に起因するタム状態1D-MPCを開発し、磁気光学効果が増大することを確認した。

(2) 2次元MPC: 2次元周期構造を有するアルミナベースのMPC形成を行い、明瞭なバンドギャップと磁気光学特性の変調を見出した。電子線露光装置と反応性イオンエッチングRIEを用いて、Siの2次元PCを形成した(図1)。この構造にBI:YIGを導入することで1D-MPCの作製を試みた。理論解析結果を踏まえ、薄膜導路型の光アイソレータへの応用を展開し

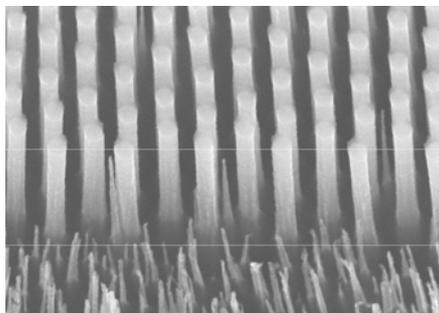


図1 RIEによって作製したSiの2次元PCのSEM像。

ている。

(3) 3次元MPC: パーティカルデポジション法とスパッタ法、およびゲルコート法とを組み合わせることで、3次元MPCを形成した。また、3次元構造MPCの偏光特性や入射方位依存性について、理論・実験から基礎特性を解明した。これらの成果を踏まえ、3次元MPCのホログラム記録メディアとしての応用展開を検討している。

(4) 局在プラズモン励起: Auなどの金属超微粒子を磁性ガーネット内に分散させることで、局在プラズモン共鳴によるファラデー効果の増大現象を実験・理論から示した。このような増大現象はこれまで実験的に示された例はなく、MPCとの連携による本手法の工学的な応用が期待される。

(5) スピン波機能: 磁性体固有の波動として、スピン波(静磁波)があり、磁氣的に形成したMPCでスピン波が光と同じようなバンドギャップを形成することを実験的に示した。この構造体は、磁区構造を電子的に制御することで、制御性を有する高周波マイクロデバイスへの応用が期待できる。

5. これまでの進捗状況と今後の計画
研究開始時の計画に沿って、当初予定の研究成果が得られている。2次元・3次元体の非線形光学効果解明は今後に残された研究課題である。また、1次元から3次元体のすべての構造体について、応用研究が開始されている。さらに、局在プラズモン共鳴の利用やスピン波制御性への発展が行われている。これらは、計画にはなかった課題であるが、MPC技術の発展として、今後の展開が期待される。

6. これまでの発表論文等
(研究代表者は太字、研究分担者には下線)
<発表論文>

- (1) 招待論文, A. B. Khanikaev, A. V. Baryshev, A. A. Fedyanin, A. B. Granovsky and **M. Inoue**, "Anomalous Faraday Effect of a system with extraordinary optical transmittance", *Optics Express*, pp.6612-6622, 2007.
- (2) K. Takahashi, H. Takagi, K. H. Shin, H. Uchida, P. B. Lim, and **M. Inoue**, "Enhancement of Modulation Rate of Magneto-Optical Spatial Light Modulators with Magnetophotonic Crystals", *J. App. Phys.* vol.101, pp. 09C523-1-09C523-3, 2007.
- (3) A. V. Baryshev, A. B. Khanikaev, **M. Inoue**, P. B. Lim, A. V. Sel'kin, G. Yushin, and M. F. Limonov, "Resonant Behavior and Selective Switching of Stop Bands in Three-Dimensional Photonic Crystals with Inhomogeneous Components", *Phys. Rev. Lett.* PRL99, 063906-1-063906-4, 2007.

など、欧文論文誌 58 編。

<著書>

- (1) M. Inoue, "Formation of thick electronic ceramic films with bonding technique of crystalline fine particles and their applications", 『Nanoparticle Technology Handbook』, Chapter 7, Elsevier Science, 2007.

など、9 編。

<国際会議発表>

- (1) 招待講演, **M. Inoue**, R. Fujikawa, A. Baryshev, A. Khanikaev, H. Uchida, P. B. Lim, A. Fedyanin, A. Granovsky, "Nano-magnetophotonics: Magneto-optics assisted by photonic crystal technology and localized surface plasmons", International Conference on Nanoscale Magnetism 2007, Istanbul, Turkey, 2007.

など、招待講演 28 編、一般講演 155 編。

ホームページ等

<http://www.maglab.eee.tut.ac.jp/>