

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料  
〔平成29年度研究進捗評価用〕

平成26年度採択分  
平成29年3月15日現在

ナノスケールで構造を制御した人工磁気格子と  
その工学的応用

Artificial Magnetic Lattices with Introducing Nanoscale  
Structures and its Engineering Applications

課題番号：26220902

井上 光輝（INOUE MITSUTERU）

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・教授



研究の概要

本研究は、磁性フォトニック結晶やマグノニック結晶に関する研究代表者自らの研究成果を「人工磁気格子」としてまとめ、国内外に例のない新たな分野形成につなげようとするものである。また、「人工磁気格子」を用いて脳科学や生体医療などで必須の情報デバイス・システムを実現しようとするものである。

研究分野：工学、電子・電気材料工学

キーワード：磁性体、誘電体、光学、人工磁気格子

1. 研究開始当初の背景

数 nm から数百 nm 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つつある。特に、最近の情報通信テクノロジーの飛躍的な進展に伴い、重要な情報キャリアである光やスピン波、あるいは高周波電磁界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・バンド構造や光局在現象を利用した多彩なフォトン輸送制御が試みられている。

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、磁性体のスピンド制御可能な新しい光学媒体の実現可能性を示した。この光とナノ構造スピンシステムとが結合したフォトニック結晶（磁性フォトニック結晶）は、光波の位相干渉を利用したものであるが、光ではなくても、波動として存在するものであれば同様の機能が発現する。我々はこの観点から上述の研究成果を発展させ、磁化の位相波であるスピン波の周期構造スピンシステムの性質を調べ、磁気媒体上に金属周期構造を形成することで、マグノニック・バンドギャップを発現し、特定周波数ではスピン波の伝搬（マグノンの存在）が阻止されることを実験的に示した。

これらは、いずれも情報キャリアの波長程

度の人為的な磁氣的周期構造、即ち「人工磁気格子」を導入して見かけの材料特性を操作し、機能を発現させるもので、物理のみならず工学的にも極めて魅力的手法であると言える。

2. 研究の目的

本研究は、この「人工磁気格子」を一つの材料と見なし、光やスピン波、あるいは磁気弾性波といった異なる磁気情報キャリアの性質を踏まえながら、その基礎特性と設計指針とを解明することで、国内外を通じて例のない新たな材料分野の形成を行うものである。

3. 研究の方法

このために、我々のグループで比較的良好に調べられてきた磁性フォトニック結晶中のフォトンの振る舞いに習い、マグノニック結晶を用いてナノスケール波長のスピン波（マグノンフロー）の高次元制御を行うと同時に、脳科学や生体医療分野で熱望されている新規の情報デバイス・システムへ応用を目指している。

人工磁気格子に関する研究で、ナノスケール波長のスピン波制御を行うマグノニック結晶は、構成材料の開発を含め基礎的研究課題が山積している。そこで、本研究では、まず、①ナノ波長スピン波制御のマグノニック結晶の形成方法の確立を目指し、世界的に例のない極薄単結晶ガーネット膜の形成とマグノニック結晶への展開を行っている。この

研究に並行して、②ナノ波長マグノンニック結晶を用いた超高感度マイクロ磁界センサの構築と、③磁性フォトニック結晶を用いた高感度3次元ホログラムディスプレイ及び3次元構造データメモリの構築を目指している。

#### 4. これまでの成果

ガーネット膜を伝わるスピン波に作動回路を世界で初めて適用し、外乱に強い磁界センサをデモンストレーションし、性能をまとめ論文発表した。この磁化の異なる2枚のガーネット膜を重ねることで、アイソレータとして働くことを見出し論文発表した。さらに、1次元マグノンニック結晶を、金属周期構造を用いて実現し、スピン波制御に適した金属膜厚等の構造に求められる条件等を議論し論文発表した。ナノ波長スピン波制御のマグノンニック結晶の実現に必須な、極薄の単結晶ガーネット膜の形成に成功した。

磁性フォトニック結晶を用いた高感度3次元ホログラムディスプレイで3次元像を表示することに成功し、論文発表した。赤・青・緑色の3色の3次元像を、磁気光学膜を使って再生することに成功し、論文発表した。グレースケールの3次元像の再生に成功した。

#### 5. 今後の計画

成功した極薄の単結晶ガーネット膜を使用してマグノンニック結晶を形成し、ナノスケールのスピン波の制御技術確立を目指す。これの磁界応答依存性等を詳細に評価する。

磁性フォトニック結晶を使用した高感度3次元ホログラムディスプレイを用いて、3次元像の動画化、フルカラー化を行う。

#### 6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

- H. Takagi, K. Nakamura, T. Goto, P. B. Lim, and M. Inoue, *Opt. Lett.* 39, 3344 (2014).
- T. Goto, M. C. Onbasli, D. H. Kim, V. Singh, M. Inoue, L. C. Kimerling, and C. A. Ross, *Opt. Express* 22, 19047 (2014).
- N. Kanazawa, T. Goto, and M. Inoue, *J. Appl. Phys.* 116, 083903 (2014).
- K. Nakamura, K. Kudo, T. Goto, H. Takagi, L. Pang Boey, and M. Inoue, *IEEE Trans. Magn.* 50, 1 (2014).
- R. Isogai, T. Goto, H. Takagi, Y. Nakamura, P. B. Lim, and M. Inoue, *J. Magn. Soc. Jpn.* 39, 33 (2015).
- H. Takagi, K. Nakamura, K. Kudo, T. Goto, P. B. Lim, and M. Inoue, *J. Magn. Soc. Jpn.* 39, 44 (2015).
- S. Shichi, N. Kanazawa, K. Matsuda, S. Okajima, T. Hasegawa, T. Okada, T.

Goto, H. Takagi, and M. Inoue, *J. Appl. Phys.* 117, 17D125 (2015).

- T. Goto, N. Kanazawa, A. Buyandalai, H. Takagi, Y. Nakamura, S. Okajima, T. Hasegawa, A. B. Granovsky, K. Sekiguchi, C. A. Ross, and M. Inoue, *Appl. Phys. Lett.* 106, 132412 (2015).
- N. Kanazawa, T. Goto, J. W. Hoong, A. Buyandalai, H. Takagi, and M. Inoue, *J. Appl. Phys.* 117, 17E510 (2015).
- R. Isogai, S. Suzuki, K. Nakamura, Y. Nakamura, H. Takagi, T. Goto, P. B. Lim, and M. Inoue, *Opt. Express* 23, 13153 (2015).
- R. Hashimoto, T. Yonezawa, H. Takagi, T. Goto, H. Endo, A. Nishimizu, and M. Inoue, *J. Magn. Soc. Jpn.* 39, 213 (2015).
- H. Takagi, K. Nakamura, S. Tsuda, T. Goto, P. B. Lim, and M. Inoue, *Sensors and Materials* 27, 1003 (2015).
- R. Isogai, Y. Nakamura, H. Takagi, T. Goto, P. B. Lim, and M. Inoue, *Opt. Express* 24, 522 (2016).
- K. Nakamura, H. Takagi, T. Goto, P. B. Lim, H. Horimai, H. Yoshikawa, V. M. Bove, and M. Inoue, *Appl. Phys. Lett.* 108, 022404 (2016).
- T. Yoshimoto, T. Goto, R. Isogai, Y. Nakamura, H. Takagi, C. A. Ross, and M. Inoue, *Opt. Express* 24, 8746 (2016).
- N. Kanazawa, T. Goto, K. Sekiguchi, A. B. Granovsky, C. A. Ross, H. Takagi, Y. Nakamura, and M. Inoue, *Sci. Rep.* 6, 30268 (2016).
- T. Goto, R. Morimoto, J. W. Pritchard, M. Mina, H. Takagi, Y. Nakamura, P. B. Lim, T. Taira, and M. Inoue, *Opt. Express* 24, 17635 (2016).
- N. Kanazawa, T. Goto, K. Sekiguchi, A. B. Granovsky, H. Takagi, Y. Nakamura, and M. Inoue, *AIP Advances* 6, 095204 (2016).
- R. Morimoto, T. Goto, J. Pritchard, H. Takagi, Y. Nakamura, P. B. Lim, H. Uchida, M. Mina, T. Taira, and M. Inoue, *Sci. Rep.* 6, 38679 (2016).
- T. Goto, D. H. Kim, X. Sun, M. C. Onbasli, J. M. Florez, S. P. Ong, P. Vargas, K. Ackland, P. Stamenov, N. M. Aimon, M. Inoue, H. L. Tuller, G. F. Dionne, J. M. D. Coey, and C. A. Ross, *Phys. Rev. Applied* 7, 024006 (2017).

ホームページ等

<http://www.spin.ee.tut.ac.jp/>