

スピンゆらぎの物理基盤とデバイス構築

Construction of Basic Idea of Spin Fluctuation and Their Devices

東大工, °田畑 仁

UTokyo, °Hitoshi Tabata

E-mail: tabata@bioeng.t.u-tokyo.ac.jp

物性ゆらぎ現象の1つであるスピングラスは、隣り合うスピンを並行に揃えようとする強磁性相互作用と反並行に揃えようとする反強磁性相互作用が無秩序に混在した状態、即ち“フラストレーション”と“ランダムネス”とが競合した際に生じる興味深いスピン状態である。3次元カゴメ構造を特徴とするスピネル型結晶構造を持つフェライト化合物 (FeO) $\{\text{Fe}_2\text{O}_3\}$ を薄膜化することにより、室温を超える高い温度でのクラスター (スピングラス) グラス材料の合成に成功している¹⁻²⁾。ホップフィールドによればスピングラスを示すハミルトニアンが、脳シナプスにおける情報伝達モデルと同値とされており、スピングラスを利用した脳型素子が期待される³⁾。さらにスピン秩序と双極子秩序を併せ持つ物質 (マルチフェロ材料) を、ガーネット型フェライトにおいて実現し^{4,5)}、これをトンネルバリアとして、スピングラスと強磁性金属によりサンドイッチしたスピン TMR 素子は、スピンフィルタ機能を有すると共に、外場により強誘電性による双安定ポテンシャルおよび、強磁性によるゼーマン項を利用する事で多値論理回路への適応が可能となると思われる。このように、スピンおよび双極子の協調現象および“ゆらぎ”機能を利用する事で、新しいエレクトロニクスが期待される。

スピンおよび双極子の強結合すなわち強磁性と強誘電性を併せ持つマルチフェロイックと呼ばれる新材料において、THz 領域にエレクトロマグノンと呼ばれる新たな物理現象が発見され、大きな注目を集めている⁶⁾。これは、マイクロ波の高周波磁場成分で励起される通常のマグノンとは異なり、THz 波の電場成分によって励起される。通常のマグノンと比べて、励起強度が桁違いに大きいため、新たなマグノン物理学が切り開かれることが期待されている⁷⁾。

しかし、エレクトロマグノンは未だ黎明期にあり、主に基礎物性学の見地での研究が多く、応用研究は未開である⁸⁾。我々は、ナノ領域でのスピン波の解析およびその工学応用を目指すマグノニクス分野において、スピン波を用いたスピン流の電気信号通信に成功した報告⁹⁾を参考に、エレクトロマグノンによるスピン流の電気信号通信を目指した研究を進めている。対象物質には希土類鉄ガーネット ($\text{R}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$: R 希土類) を選定した。スピントロニクスにおけるスピン流は拡散長が数 100 nm と短いことが実用化のボトルネックとなっていたが、この材料は室温でフェリ磁性のモット絶縁体で、ギルバート減衰係数も低いいため、スピン波によるスピン流は拡散長が長く、数 cm にも達する¹⁰⁾。加えて、THz 領域での透過性も高いため、応用拡張性も良い。スピンおよび双極子秩序を有する希土類ガーネットのバルク及びエピタキシャル歪み薄膜における THz 波励起¹¹⁾によるエレクトロマグノン生成の可能性に関しても併せて紹介する。

謝辞

本研究の一部は科研費基盤研究 S「生体ゆらぎに学ぶゆらぎエレクトロニクス」および、(独)日本学術振興会の「研究拠点形成事業 (A. 先端拠点形成型)」の助成を得て遂行された。

References

- 1) Y. Muraoka, H. Tabata, T. Kawai, Appl. Phys. Lett., 76, 1179 (2000), ibid. 77, 4016 (2000).
- 2) 関 宗俊、田畑 仁: セラミックス 49, 460 (2014)
- 3) A. Hopfield, PNAS, 79, 2554 (1982).
- 4) H. Yamahara, M. Mikami, M. Seki, H. Tabata, J. Mag. Mag. Mat., 323, 3143 (2011).
- 5) H. Tabata, K. Tsuruta, T. Koide, H. Yamahara, M. Seki, ISIF (2008) 6E-522-C.
- 6) A. Pimenov, et al., Nat. Phys. 2, 97-100 (2006)
- 7) P. Rovillain, et al., Nat. Mater. 9, 975-979 (2010)
- 8) N. Kida, et al., Phys. Rev. B 83, 064422 (2011)
- 9) Y. Kajiwara, et al., Nature, 464, 262-266 (2010)
- 10) T. Schneider, et al. Appl. Phys. Lett. 92, 022505 (2008).
- 11) M. Adachi, H. Yamahara, S. Kawabe, H. Matsui, H. Tabata, Phys. Rev. B 89, 205124 (2014).