

多層膜とスピントロニクス

高梨弘毅

東北大学 金属材料研究所

koki@imr.tohoku.ac.jp

多層膜とスピントロニクスは密接不可分の関係にある。スピントロニクスの原点は 1988 年の Fe/Cr 人工格子における巨大磁気抵抗効果 (GMR) の発見[1]であると一般に考えられている。人工格子とは、異種類の物質をナノスケールで交互に積層した構造体であり、多層膜に他ならない。その後、室温での巨大なトンネル磁気抵抗効果 (TMR) の発見[2]があり、さらにさまざまなスピン注入現象やスピントランスファー現象、また最近ではスピン流に関わる諸現象[3]が見出され、スピントロニクスは飛躍的な発展を遂げた[4]。しかし現在でも、強磁性／非磁性／強磁性を構成要素とする多層構造がスピントロニクスにおける最も基本的な構造であり、2つの磁性層の磁化の相対配置と電気伝導との相関が基本原理であることは変わらない。

多層膜の構造的極限は、異なる元素を単原子層ずつ交互に積層した構造であり、これはいわゆる「規則合金」と同一である。規則合金には、磁性材料として従来最も一般的に用いられている Fe, Co, Ni 系の遷移金属合金と比して、スピントロニクス材料として優れた特性を有するものが少なくない。本講演では、特に規則合金と多層構造という観点から、スピントロニクスにおける最近の成果を紹介したい。

ホイスラー合金の一部は、ハーフメタル (伝導電子のスピン偏極率が 100%) であることが知られている。このことを活かせば高効率にスピン流を創出することが可能で、その結果として巨大な磁気抵抗変化を実現できる。実際に TMR の研究が数多くなされ、現在では低温で 1800% に及ぶ巨大な磁気抵抗比が報告されている[5]。しかし、TMR は界面敏感で、温度変化が大きく、室温では著しく減少してしまうのが欠点である。最近では、デバイス応用のために素子抵抗を下げるという観点から、CPP-GMR (CPP は Current-Perpendicular-to-Plane の略) にも注目が集まっている。我々は $\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{Ag}/\text{Co}_2\text{MnSi}$ という積層構造で、室温で 30-40% の大きな磁気抵抗比を観測し、それが Co_2MnSi のハーフメタル性と、 Co_2MnSi と Ag とのバンドマッチングに起因することを明らかにした[6]。

FePt に代表される $L1_0$ 規則合金は大きな結晶磁気異方性を有し、室温でもナノスケールまで磁化が熱的に安定であるというメリットがある。同時に、良好な垂直磁化膜を作製できるので、デバイスの高集積化に適している。我々は、FePt/Au 面内多端子素子において、FePt を垂直偏極スピン注入源として利用し、Au の巨大なスピンホール効果を観測し[7]、そのメカニズムについて不純物散乱や表面散乱という観点から検討を行っている[8]。また最近では、垂直磁化 $L1_0$ -FePt 超薄膜の電圧による保磁力変調にも成功した[9]。さらに元素戦略的な観点から、Fe と Ni の単原子層交互積層によって、高価な Pt を用いない $L1_0$ -FeNi 膜の作製にも取り組んでいる[10]。

[1] M. N. Baibich *et al.*, Phys. Rev. Lett., **61** (1988) 2472.

[2] T. Miyazaki and N. Tezuka, J. Magn. Magn. Mater., **139** (1995) L231.

[3] 解説として、高梨弘毅, 応用物理, **77** (2008) 255.

[4] 総合的な解説書として、“スピントロニクスの基礎と材料・応用技術の最前線” (監修: 高梨弘毅), シーエムシー出版 (2009).

[5] T. Taira *et al.*, Abstracts of 55th Annual Conf. on Magn. & Magn. Mater., pp.118-119, Atlanta (2010).

[6] Y. Sakuraba *et al.*, Phys. Rev. **B82** (2010) 094444.

[7] T. Seki *et al.*, Nat. Mater., **7** (2008) 125.

[8] B. Gu *et al.*, Phys. Rev. Lett., **105** (2010) 216401.

[9] T. Seki *et al.*, Appl. Phys. Lett., **98** (2011) 212505.

[10] T. Kojima *et al.*, J. Phys.: Conf. Ser., **266** (2010) 012119.