

## マンガン系磁性合金

### ー磁化ダイナミクスやスピントロニクス応用の観点からー

水上 成美<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> 東北大学・材料科学高等研究所, <sup>2</sup> 東北大学・先端スピントロニクス研究開発センター

Manganese magnetic alloys - magnetization dynamics and spintronics application -

Shigemi Mizukami<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> WPI Advanced Institute for Materials Research, Tohoku Univ.,

<sup>2</sup> Center for Science and Innovation in Spintronics, Tohoku Univ.

【はじめに】Fe は典型的な磁性元素であるが、周期律表で Fe の左に座る Mn の巨視的な性質は Fe とは全く異なっている。Mn には4つの相があるが、いずれの相も強い磁性を示さない。一見、地味な磁性元素にも思えるが、他の元素の助けを少し借りることで類稀な磁気物性を発現することがある。例えば、 $Mn_3Ir$  は、磁気センシングのための磁気抵抗デバイスには必須の反強磁性材料であるし、 $Mn_3Sn$  はそのトポロジカルな性質に興味をもたれ昨今多くの研究がある。では、強磁性あるいはそれに類する Mn 系の物質はあるだろうか？

【正方晶 Mn 系磁性体と磁化ダイナミクス】Mn と III-IV 族元素を混ぜ合わせた合金・化合物には、正方晶規則構造となった時に強い磁性を発現するものがある。例えば、Mn-Ga 二元系はその一例であり、最大で 700 K 以上の磁気転移温度を示すフェリ磁性体である。加えて、結晶対称性の低下から一軸結晶磁気異方性を示す。2007 年に正方晶  $Mn_3Ga$  が 88% に達するスピン分極率を有することが第一原理計算によって示され、これを皮切りに様々な正方晶 Mn 系磁性体の研究が国内外の多くの研究者によって進められてきた。我々は、スピントロニクス応用を念頭にその結晶薄膜の研究を始め、 $1 \text{ MJ/m}^3$  を超える高垂直磁気異方性をまず見出した。このような高垂直磁気異方性を発現するフェリ磁性体では、その磁化歳差運動の周波数がサブ THz に達する。そこで我々は、パルスレーザーを用いた独自の時間分解測定系を構築し、100-500 GHz のいわゆるキツェルモードの観測に初めて成功、正方晶 Mn 系磁性体に加え、様々な垂直磁化磁性材料薄膜の磁気ダンピング定数を報告した。興味深いことに、Mn-Ga 等の物質は「高」磁気異方性と「低」ダンピング定数を示す、類稀な物質であることが実証された。原理の詳細は割愛するが、大きなスピン磁気モーメントを有する Mn 原子が比較的軽い III-IV 族元素とともに一軸性の結晶構造を形成している点が重要であると解釈される。

【スピントロニクス応用】前述のように、正方晶 Mn 系磁性体のもつ、比較的高い磁気転移温度、低飽和磁化、高垂直磁気異方性、そして低ダンピング定数といった特性は、スピントランスファートルク等を利用したスピントルクデバイスの性能を飛躍的に高めることができるため、そういったデバイス向け材料としての潜在性を検討することが一つの課題である。そのため我々は、デバイス化で必須となる正方晶 Mn 系磁性体の薄膜形成の研究をさらに進め、その極薄膜形成に初めて成功した。そういった技術を用いることで、Mn-Ga 極薄膜を用いたデバイス構造におけるスピン軌道トルク磁化反転や、スピントルクダイオード効果を初めて報告した。また磁気抵抗デバイス応用を念頭に、正方晶 Mn 系磁性体を用いた磁気トンネル接合の研究にも取り組み、ごく最近、Mn を含む新規準安定磁性合金と組み合わせることで、100% を超えるトンネル磁気抵抗効果を報告した<sup>2)</sup>。講演では、これらの研究に加え、現在の取り組みと今後の展望について述べる。

【謝辞】宮崎照宣東北大学名誉教授、ならびに多くの共同研究者に深く感謝いたします。本研究は、科研費等多くの支援によって行われた。

**参考文献** 1) 文献は次の総説等を参照のこと。鈴木和也, 水上成美, スピントロニクスハンドブック (III. 第一節, 第二項, NTS, 2023); X. Zhao, J. Zhao, Adv. Mater. Interfaces **9**, 2201606 (2022); S. Mizukami et al. Scr. Mater., **118**, 70 (2016); 日本磁気学会第 208 回研究会資料 (2016); S. Mizukami, J. Mag. Soc. Jpn. **39**, 1 (2015). 2) K. Z. Suzuki et al., Appl. Phys. Lett. **118**, 172412 (2021); K.Z. Suzuki, S. Mizukami, AIP Adv. **13**, 035225 (2023).