

## スピントロニクス材料としてのハーフメタルホイスラー合金

## Half-metallic Heusler alloy thin films for spintronic devices

北大院情報科学, ○山本真史, 植村哲也

Hokkaido Univ., Masafumi Yamamoto, Tetsuya Uemura

E-mail: yamamoto@nano.ist.hokudai.ac.jp

一方のスピン方向について, フェルミレベルにエネルギーギャップが存在するために, スピン偏極率が 100%となるハーフメタルの概念は 1983 年に de Groot 等により提唱された<sup>1</sup>. このように電子構造に由来する本質的に高いスピン偏極率のために, ハーフメタルはスピントロニクスデバイスに必須の強磁性材料として大きな期待が持たれ研究がなされてきた. この中で, 近年, Co 基ホイスラー合金 ( $\text{Co}_2\text{YZ}$ , Y は遷移金属, Z は主族元素) のデバイス応用の研究が活発に行われている. この理由として,  $\text{Co}_2\text{YZ}$  はキュリー温度が室温よりも十分高く(例えば  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  については 985 K), 室温強磁性材料として問題なく応用できること, また,  $\text{Co}_2\text{YZ}$  の多くについて, ハーフメタル特性が理論的に指摘されていることが挙げられる. さらに, 具体的なデバイスへの応用を考える上で重要なことは, MTJ への応用の場合も, GMR デバイスへの応用の場合も, 原子レベルで急峻で平坦な界面を有する高品質の単結晶ヘテロ構造が実現されていることである. 具体的には, MTJ の場合には, MgO との格子ミスマッチが比較的小さく, 超高真空中での真空一貫での積層構造の作製により, 単結晶エピタキシャル構造の MTJ 三層構造が実現されている. また, GMR デバイスについても Ag を中間層とする単結晶エピタキシャル構造が実現されている. 単結晶エピタキシャル構造により, MTJ の場合には, ハーフメタル特性に加えて, コヒーレントトンリングの効果が, 高い TMR 比につながっている. GMR デバイスの場合には, 同様に, ハーフメタル性に加えて, ホイスラー合金  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  と Ag とのフェルミ面のマッチングが重要であることが指摘されている<sup>2</sup>. これらの高品質ヘテロ構造を MTJ<sup>3</sup> あるいは GMR デバイス<sup>4</sup>に適用することによって, 室温で優れたデバイス特性が実証されている. また, 半導体チャネルへのスピン源としてもその有用性が示されつつある<sup>5</sup>.

さらに, ホイスラー合金は 4 元系 (例えば,  $\text{Co}_2(\text{Mn,Fe})\text{Si}$ ,  $\text{Co}_2\text{Fe}(\text{Al,Si})$  など) を含む多くの多様な物質群を有していることも大きな特徴の一つである. 4 元系での組成の選び方によって, 電子構造を可変できることも応用の可能性を広げている. さらに,  $\text{Co}_2\text{YZ}$  ハーフメタルホイスラー合金については, Gilbert 磁気減衰定数が小さく<sup>6</sup>, スピン偏極電流注入による磁化反転の臨界電流密度の低減にも有利である.

ホイスラー合金は 3 元系合金であり, 薄膜組成の化学量論的組成からのずれは何かしらの欠陥をもたらす. これについては,  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  について,  $\text{Co}_{\text{Mn}}$  アンチサイトを抑制することが重要であり, このために, Mn 過剰側の組成を用いることがハーフメタル特性を得る上で有効な方法であることが明らかにされている<sup>7</sup>. この結果, エピタキシャル  $\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{MgO}/\text{Co}_2\text{MnSi}$  MTJ では低温で 1995%, 室温で 354%の大きな TMR 比が実証されている<sup>3</sup>. また, このアプローチを 4 元系  $\text{Co}_2(\text{Mn,Fe})\text{Si}$  を用いた MgO MTJ に適用し, Mn+Fe の過剰な組成により 4.2 K で 2611%, 室温で 429% のさらに高い TMR 比が最近, 実証されている<sup>8</sup>. 一方,  $\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{MgO}$  MTJ と  $\text{CoFeB}/\text{MgO}$  MTJ の TMR 比の温度依存性を比較すると, 前者の依存性が強いことが明らかである. この起源の解明が課題の一つとなっている.

1) R. A. de Groot *et al.*, PRL 50 (1983) 2024. 2) Y. Miura *et al.*, PRB 84 (2011) 134432. 3) H.-x. Liu *et al.*, APL 101 (2012) 132418. 4) J. Sato *et al.*, APEX 4 (2011) 113005. 5) T. Akiho *et al.*, PRB (in press). 6) M. Oogane *et al.*, APL 96 (2010) 252501. 7) M. Yamamoto *et al.* J. Phys.: Condens. Matter 22 (2010) 164212. 8) T. Kawami *et al.*, 本学術講演会予稿集