

異方性磁気抵抗 (AMR) 効果の直感的説明と ハーフメタリック強磁性体の必要条件「負の AMR」

Intuitive Explanation of Anisotropic Magnetoresistance (AMR) Effect and Necessary Condition for Half-Metallic Ferromagnet “Negative AMR”

静大工¹, 東北大工² ○古門聡士¹, 北川佑太¹, 角田匡清²

Shizuoka Univ.¹, Tohoku Univ.² ○Satoshi Kokado¹, Yuta Kitagawa¹, Masakiyo Tsunoda²

E-mail: tsokad@ipc.shizuoka.ac.jp

強磁性体の異方性磁気抵抗 (AMR) 効果 [電気抵抗が磁化 (M) 方向に依存] は, 磁性と伝導性が絡む最も基礎的な現象の 1 つである. その効果の効率を表す AMR 比は $(\rho_{\parallel} - \rho_{\perp})/\rho_{\perp}$ で表される. ただし, $\rho_{\parallel}$ は電流 (I)/ M のときの抵抗率, $\rho_{\perp}$ は $I \perp M$ のときの抵抗率である. AMR 効果は約 150 年前から現在まで種々の強磁性体に対して調べられてきたが, AMR 効果の直感的説明はほとんど行われてこなかった. そこで本研究では, AMR 比の一般式を導出した上で, 種々の強磁性体の AMR 効果に対して直感的説明を与えた [1]. さらにハーフメタリック強磁性体が必ず負の AMR 比を示すことも見出した. 詳細は以下のとおりである.

AMR 効果に大きな影響を与える抵抗率は s-d 散乱による抵抗率 (s-d 抵抗率) である. これはスピン偏極伝導電子 (s 電子) が不純物により局在 d 軌道へ散乱される場合の抵抗率である. ここで, 局在 d 軌道は交換分裂エネルギーとスピン軌道相互作用 V_{SO} を持つ模型から得られる. 得られた d 軌道は, $V_{SO}=0$ の系の軌道と比べて M 方向に歪んだ形になった. 例えば $\uparrow$ スピンの d 軌道に注目するとき, $\uparrow$ スピンの軌道 (支配的成分) は M 方向に縮み, 僅かに混じってきた $\downarrow$ スピンの軌道 (混成成分) は M 方向に伸びた形になった. 電子雲の概略図 (Fig. 1) では, 支配的成分は M 方向を短軸とする大きな楕円, 混成成分は M 方向を長軸とする小さな楕円で表された.

この d 軌道の形状を考慮に入れることで AMR 効果は説明され得る. 特に「(i) V_{SO} により M 方向//軌道 z 方向である」と「(ii) s-d 抵抗率はフェルミ準位上の局在 d 軌道 (電子雲) の I 方向の大きさに依存する」の 2 点を用いる. 例えば $\uparrow$ スピン側が金属的なハーフメタリック強磁性体を考える (Fig. 2). $\uparrow$ スピンの電子雲は, M 方向を短軸とする楕円で表される. M を回転させるとき, 電子雲 (楕円) は (i) より M とともに回転する. I 方向を固定した上で M を回転させるときは, 電子雲 (楕円) の I 方向の大きさが変化することになる. 従って, (ii) より s-d 抵抗率は M 方向に依存する. なおこの系では, 電子雲の I 方向の大きさを反映して, $I \perp M$ の s-d 抵抗率が $I // M$ のそれより大きくなる. 結果として, 負の AMR 比が得られる.

講演では, Ni 等で観測される正の AMR 比についても説明する.

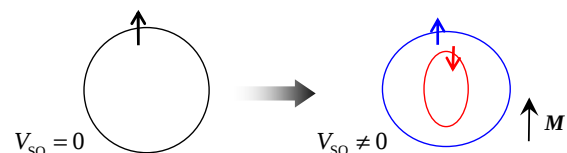


Fig. 1: Electron cloud of the localized d orbital. When the electron cloud of $V_{SO}=0$ is expressed as a circle (left panel), that of $V_{SO} \neq 0$ becomes an ellipse (right panel). An arrow $\uparrow$ ($\downarrow$) denotes $\uparrow$ spin ($\downarrow$ spin).

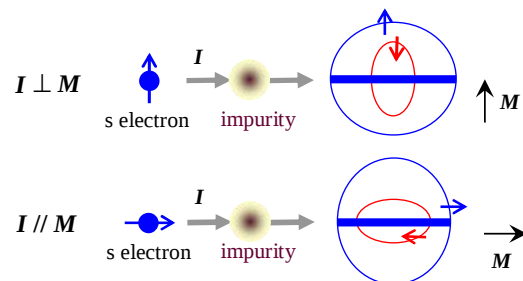


Fig. 2: s-d scattering of $\uparrow$ spin electron. Upper panel: $I \perp M$. Lower panel: $I // M$. The length of a bar in each localized d orbital represents the magnitude of the electron cloud of the I direction.

[1] S. Kokado, M. Tsunoda, K. Harigaya, and A. Sakuma, J. Phys. Soc. Jpn. **81** 024705 (2012); S. Kokado and M. Tsunoda, Adv. Mater. Res. **750-752** 978 (2013), Phys. Status Solidi C **11** 1026 (2014).