

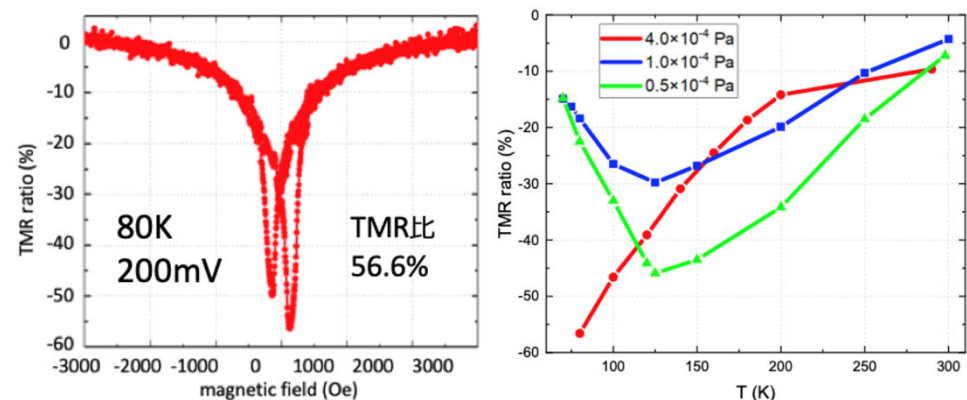
研究プロジェクト名：室温ハーフメタル酸化物 Fe_3O_4 のTMR効果におけるスピン分極率

概要：我々は Fe_3O_4 をTMR素子の実現を試みており、種々のトンネルバリア材料を含む磁気トンネル接合を作製した。なかでも Al_2O_3 を用いた接合では、室温で-15%のTMR効果を観測することに成功した。負のTMR比は Fe_3O_4 のスピン分極率が負であることを示し、バンド計算結果と一致する。しかし、期待される大きな磁気抵抗比には至っておらず、また、バリア材料依存性も明らかではない。本研究では材料依存性や、TMRの電圧依存性などを明らかにし、酸化物TMR素子の可能性を拓く。

コアメンバー： 長浜太郎 (北大) 島田敏宏 (北大) 白井正文 (東北大)

期待される研究成果：酸化物磁性体を用いたTMR素子では低温低電圧のLSMOを除いて良い性能が得られていない。酸化物バリア層との拡散など、界面状態をよく制御する必要があると考えられる。本研究では、材料的な探索、および伝導特性の電圧依存性や温度依存性、分光測定から、界面状態に関する知見を得て、高性能酸化物TMR素子実現のための足がかりとしたい。

$\text{Fe}_3\text{O}_4(001)/\text{MgO}(001)/\text{Fe}(001)$ -MTJの低温でのTMR(左)
TMRの温度変化とその成膜時の酸素分圧依存(右)

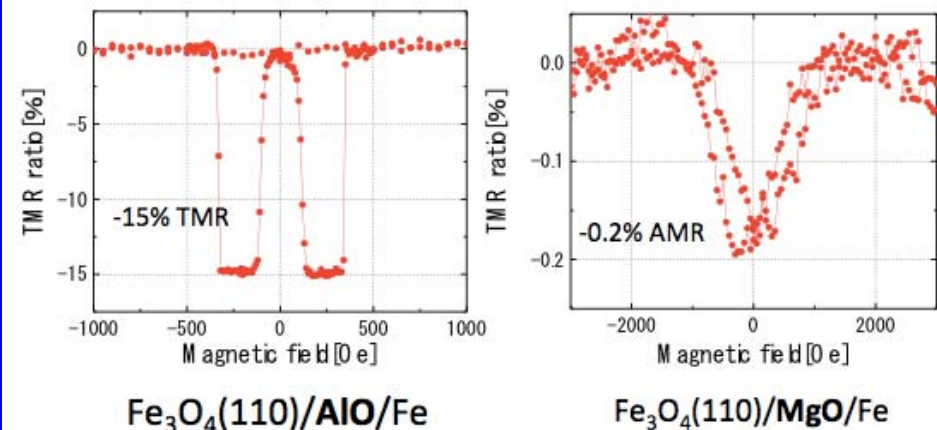


研究プロジェクト名: 室温ハーフメタル酸化物 Fe_3O_4 のTMR効果におけるスピン分極率

概要: 我々は強磁性トンネル接合において、 $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}$ -を作製し、室温で-15%の負の大きなTMR効果を観測することに成功した。負のTMR比は Fe_3O_4 のスピン分極率が負であることを示しており、バンド計算結果と一致する。しかし、同時に Fe_3O_4 はハーフメタルであると予測されており巨大なTMR比が期待されるがそのようなTMR比は観測されていない。本プロジェクトでは障壁材料依存性などから Fe_3O_4 界面磁気状態を調べ、巨大TMR実現の足がかりとする。

研究成果(実施状況): TMR効果のバリア材料依存性および結晶方位依存性について調べるために、AlOバリアとMgOバリアについて結晶方位(100)と(110)のMTJを同じ条件で作製し、磁気伝導特性を調べた。その結果、AlOバリア(110)MTJとMgO(100)MTJのみで大きな負のTMRを観測した。界面状態などの本質的な問題である可能性とプロセスの最適化の問題である可能性がある。

異なるバリア材料での磁気抵抗曲線

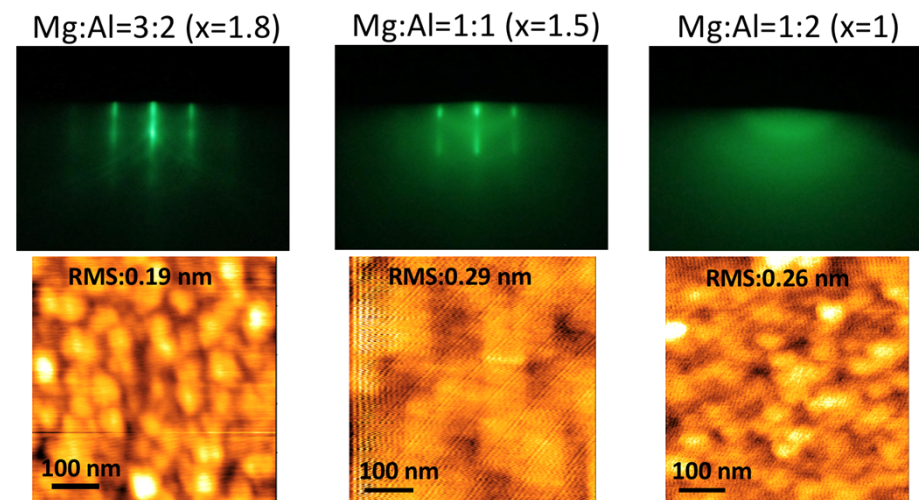


主要発表論文等: [1] Y. Yamamoto et al., SSDM2016, (2016) Tsukuba.

研究プロジェクト名: 室温ハーフメタル酸化物 Fe_3O_4 のTMR効果におけるスピン分極率

概要: Fe_3O_4 は-100%のスピン分極をもつハーフメタルであると期待されているが、 Fe_3O_4 を電極に用いたトンネル接合の示すTMR効果は20%程度でありそのポテンシャルを十分に示してはいない。本プロジェクトではトンネル障壁層の結晶構造に着目し、 Fe_3O_4 と同じスピネル構造をもつ MgAl_2O_4 障壁層を用いた Fe_3O_4 -MTJを作製する。

研究成果: Fe_3O_4 電極上に MgO と AlO を同時蒸着することによって $\text{Mg}_x\text{Al}_{3-x}\text{O}_y$ 膜を作製し、その構造を調べた。その結果、 MgAl_2O_4 組成ではアモルファス成長するが、 Mg リッチな $\text{Mg}:\text{Al}=1:1, 3:2$ ではエピタキシャル成長することがわかった。また高分解能TEMによる断面観察の結果結晶構造はスピネル構造であることがわかった。 $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{MgAlO}/\text{Fe}_3\text{O}_4$ トンネル接合を作製したが、大きなTMR効果は観測されなかった。界面状態の改善が重要であると考えられる。



Fe_3O_4 上の $\text{Mg}_x\text{Al}_{3-x}\text{O}_y$ 膜の各組成でのRHEEDパターンとAFMによる表面観察

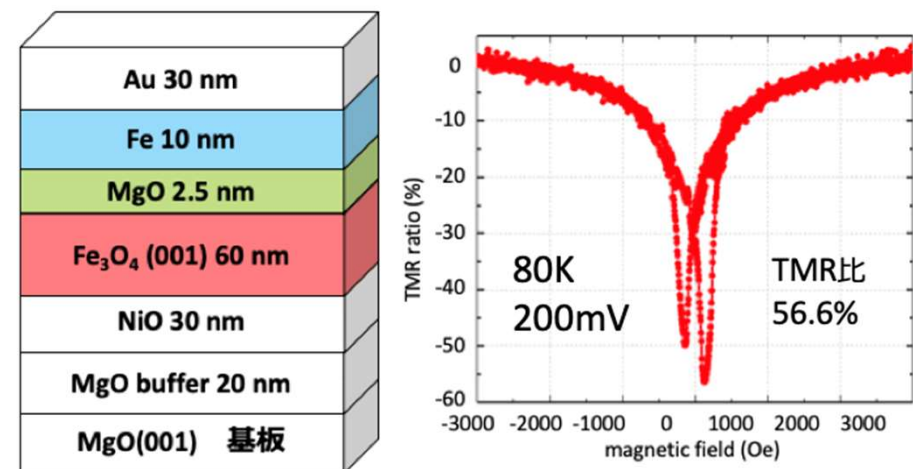
主要発表論文等: [1] Y. Yamoto et al., 第65回 応用物理学会 春季学術講演会(2017).

研究プロジェクト名: 室温ハーフメタル酸化物 Fe_3O_4 のTMR効果におけるスピン分極率

概要: 我々は Fe_3O_4 をTMR素子の実現を試みており、種々のトンネルバリア材料を含む磁気トンネル接合を作製した。なかでも Al_2O_3 を用いた接合では、室温で-15%のTMR効果を観測することに成功した。負のTMR比は Fe_3O_4 のスピン分極率が負であることを示し、バンド計算結果と一致する。しかし、期待される大きな磁気抵抗比には至っておらず、また、バリア材料依存性も明らかではない。本研究では材料依存性や、TMRの電圧依存性などを明らかにし、酸化物TMR素子の可能性を拓く。

研究成果(実施状況): Fe_3O_4 のTMR効果を得るためにMgO(100)基板上に $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{MgO}/\text{Fe}$ のMTJを作製しTMR効果の測定を行った。その結果80K, -200mVにおいて-56.6%の負のTMR比を観測することに成功した。また、MR曲線の形状から反平行状態が不完全であると予想され、磁化過程の最適化によりさらに大きなTMR効果が得られることが期待される。温度変化に関しては温度の低下とともに単調にTMR比は増大し、Verwey転移に起因する異常は観測されなかった。

$\text{Fe}_3\text{O}_4(001)/\text{MgO}(001)/\text{Fe}(001)$ MTJのTMR



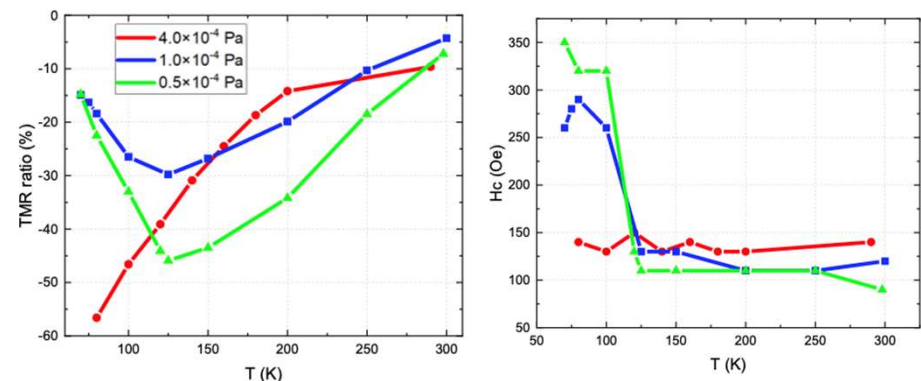
主要発表論文等: [1] 辻 榮ら、応用物理学会第79回秋季学術講演会 名古屋市

研究プロジェクト名: 室温ハーフメタル酸化物 Fe_3O_4 のTMR効果におけるスピン分極率

概要: 我々は Fe_3O_4 をTMR素子の実現を試みており、種々のトンネルバリア材料を含む磁気トンネル接合を作製した。なかでも Al_2O_3 を用いた接合では、室温で-15%のTMR効果を観測することに成功した。負のTMR比は Fe_3O_4 のスピン分極率が負であることを示し、バンド計算結果と一致する。しかし、期待される大きな磁気抵抗比には至っておらず、また、バリア材料依存性も明らかではない。本研究では材料依存性や、TMRの電圧依存性などを明らかにし、酸化物TMR素子の可能性を拓く。

研究成果(実施状況): $\text{MgO}(100)$ 基板上の $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{MgO}/\text{Fe-MTJ}$ について、 Fe_3O_4 電極の成膜時の酸素分圧依存性について調べた。MR比の温度依存性を評価した結果、従来の酸素分圧では低温にするほどMR比は増大したが、やや低い酸素分圧では120K付近で極大を取ることがわかった。この温度はVerwey転移温度付近であり、この相転移がMR比に大きく影響することを見出した。また、MR比は酸素分圧に非常に敏感であり、 Fe_3O_4 電極界面の組成や構造、電子状態の制御がTMR比の増大に非常に大きな影響を及ぼすことが示された。

Fe_3O_4 製膜時の酸素分圧とTMR比の温度依存性(左)
TMR比が最大を示す磁場の温度依存性(右)



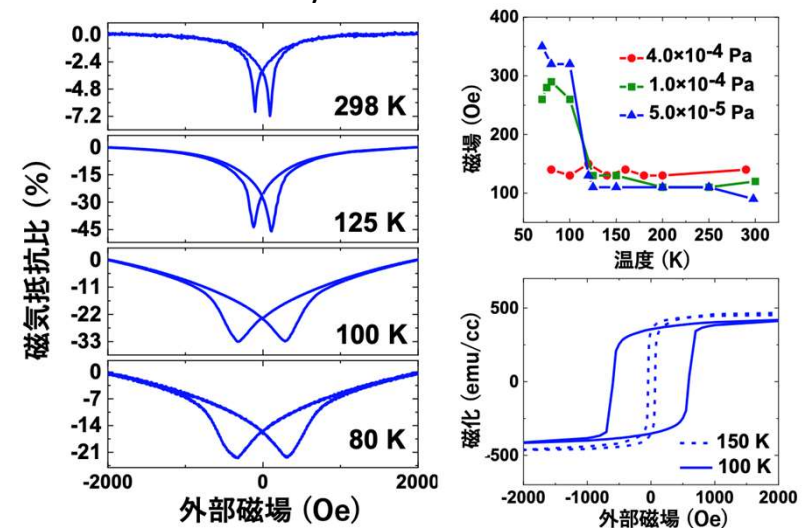
主要発表論文等: [1] S.Yasui et al.国際会議MMM2019発表(2019)
[2] 安井ら,応用物理学会第80回秋季学術講演会(2019)札幌市

研究プロジェクト名： 室温ハーフメタル酸化物 Fe_3O_4 のTMR効果におけるスピン分極率

概要： 我々は Fe_3O_4 をTMR素子の実現を試みており、種々のトンネルバリア材料を含む磁気トンネル接合を作製し、これまで Al_2O_3 バリアを用いた接合では、室温で-15%のTMR効果を観測することに成功した。負のTMR比は Fe_3O_4 のスピン分極率が負であることを示し、バンド計算結果と一致する。しかし、期待される大きな磁気抵抗比には至っておらず、また、バリア材料依存性も明らかではない。本研究では材料依存性や、TMRの電圧依存性などを明らかにし、酸化物TMR素子の可能性を拓く。

研究成果（実施状況）： $\text{Fe}_3\text{O}_4(001)/\text{MgO}(001)/\text{Fe}(001)$ エピタキシャルMTJを作製し、-55.8%の負のTMRを観測した。これは一般的な正のTMRで用いられる定義での120%に相当する。また、TMRの温度依存性は製膜時の酸素分圧に強く依存した。これはVerwey転移と深く関係していることが示唆された。とくに最適な酸素分圧で製膜した試料はVerwey温度の前後で磁化過程が大きく変化した。また Fe_3O_4 の伝導電子は t_{2g} 軌道であると考えられているが、第一原理計算では部分的にコヒーレントトンネリングの成分が存在する可能性が示された。

$\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{MgO}/\text{Fe}$ の磁気抵抗比と磁気ヒステリシスの温度依存性。Verwey点の上下で変化する。



主要発表論文等： [1] S. Yasui et al., Phys. Rev. Appl., 15, 034042 (2021).
[2] 安井彰馬ら., 学会発表, 第68回応用物理学会春季学術講演会(2021)