

課題番号 : F-20-HK-0016
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : Fe₃O₄ を用いたトンネル磁気抵抗素子の開発
Program Title (English) : Development of the magnetic tunnel junctions with Fe₃O₄
利用者名(日本語) : 長浜太郎
Username (English) : Taro Nagahama
所属名(日本語) : 北海道大学大学院工学研究院
Affiliation (English) : Graduate School of Engineering, Hokkaido University
キーワード/Keyword : 成膜・膜堆積、電気計測

1. 概要(Summary)

近年電子の電荷のみならずスピン自由度を活用した電子デバイス開発が盛んに行われており、スピントロニクスと呼ばれる。なかでも強磁性トンネル接合(MTJ:Magnetic tunnel junction)で観測されるトンネル磁気抵抗効果(TMR: Tunnel MagnetoResistance effect)は大きな抵抗変化率を示し、スピントロニクスの核となる現象である。Fe₃O₄は第一原理計算によると-100%のスピン分極率をもつハーフメタルであると予想され、巨大な TMR 効果を示すと期待された。しかし、MTJ では TMR が小さい、あるいは予想される負の TMR が観測されないなどの問題があった。本研究では MBE 法による高品質の Fe₃O₄-MTJ を作製し、その TMR 効果について詳細に調べた。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

コンパクトスパッタ装置 多元スパッタ装置

【実験方法】

多層膜は反応性 MBE 方で MgO(001)単結晶基板の上に作製した。Fe₃O₄ 製膜時は酸素ガスをチャンバー中に導入した。酸素分圧は 4×10^{-4} から 5×10^{-5} Pa とした。基板温度は 300°C とし、MgO 障壁層を作製後 150°C で熱処理した。上部電極の Fe は室温で電子銃加熱にて蒸着した。エピタキシャル成長は高速電子線回折で確認した。得られた薄膜をフォトリソグラフィ、スパッタリングを用いて微細加工、電極パッドを形成した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

室温における TMR の測定では -10% 程度の TMR 比を観測した。負の磁気抵抗が観測されたことは第一原理計算とも整合する結果である。TMR 曲線の形状は通常の方角とは異なり、ややなだらかな三角形あるいは台形を示した。Fe₃O₄ は薄膜すると逆位相界面の影響によって磁気ヒステリシスの角型性が低下することが報告されてお

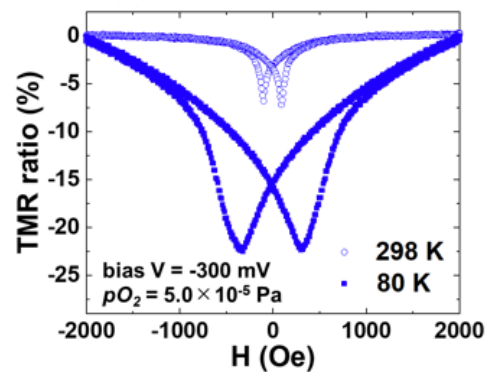


Fig. 1 TMR effect of Fe₃O₄/MgO/Fe. The MR curve differs between above and below the Verwey temperature.

り、本 MTJ においても Fe₃O₄ 電極層の磁化過程に起因するものと思われる。TMR の温度変化については、Fe₃O₄ 層製膜時の酸素分圧によって異なる依存性を示した。 1×10^{-4} あるいは 5×10^{-5} Pa で成膜したものについては、温度の低下に従って TMR 効果は増大したが 120K 程度で極大を示し、その後低下に転じた。この温度は Fe₃O₄ 特有の相転移である Verwey 転移温度と一致する。一方で 4×10^{-4} Pa で成膜した試料は 120K を超えても温度の低下とともに TMR は増大し続け、最大 -55.8% の MR を観測した。

4. その他・特記事項(Others)

プレスリリース、「酸化鉄で巨大な負のトンネル磁気抵抗効果を実現」2021/3/30 <https://www.hokudai.ac.jp/news/2021/03/post-815.html>

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) S. Yasui et al., Phys. Rev. Appl. **15**,034042 (2021)
- (2) 安井彰馬他、第 68 回応用物理学会春季学術講演会
2021 年 3 月 18 日オンライン

6. 関連特許(Patent)

なし