

平成 25 年度工学系共通経費による顕彰と研究助成 成果報告書

所 属	電子物理工学専攻
研究者 (ふりがな)	高村陽太 (たかむら ようた)
タイトル	ハーフメタル・フルホイスラー合金を用いた垂直磁化型 MTJ の試作
助 成 名	新任助教研究助成
採択金額	1, 0 0 0 千円
<p>研究の背景</p> <p>次世代不揮発メモリ MRAM(Magnetic random access memory)の基本メモリデバイスである垂直磁化型トンネル磁気抵抗変化素子において、垂直磁気異方性を示し、かつ、高いスピン分極率を有する強磁性材料が求められている。本研究課題では、スピン分極率が100%と理論的に予測されている $L2_1$ 型フルホイスラー合金 Co_2FeSi(CFS)薄膜を形成し、さらに、MgO との界面の磁気異方性を利用して、フルホイスラー合金 Co_2FeSi 薄膜に垂直磁気異方性を付与することを目的とした。</p>	
<p>結果と考察</p> <p>試料の結晶構造を評価するため、対向ターゲット式スパッタ法を用いて、MgO 基板/Pd バッファ層(20nm)/CFS(100nm)/Ta 構造を作製した。(括弧内は膜厚を表す.)。基板温度は 300°C とし、スパッタリングガスは、Pd 層は Kr(分圧 0.13Pa)、CFS 層と Ta 層は、Ar(分圧.013Pa)とした。Pd、CFS、Ta の成膜レートは、それぞれ、0.03nm/s、0.05nm/s、0.06nm/s だった。</p> <p>図 1(a)に試料の X 線回折(XRD)パターンを示す。CFS(200)と CFS(400)の明瞭な回折パターンが観測され、CFS 薄膜が(100)配向膜であることを確認した。また、(200)回折から、少なくとも $B2$ 規則構造を形成していることがわかった。次に、2θ の角度を CFS(220)回折のピーク位置に固定し、基板を 45° 傾けた状態で、試料を面内で回転させて XRD 測定を行った。(220)、(202)、(2-20)、(20-2)の 4 階対称のピークが観測され、CFS 薄膜がエピタキシャル成長していることを確認した(図 1(b))。また、CFS(220)ピークは、MgO 基板の(220)ピークに対して、面内で 45° シフトした角度で検出されたことから、CFS と MgO の結晶は面内に 45° 回転していることが分かった。さらに、傾角と 2θ を CFS(111)の位置に固定した面内スキャンから、CFS(111)の回折パターンを確認し、CFS 薄膜が $L2_1$ 構造を形成していることを明らかにした。</p> <p>結晶の規則度を、拡張 Webster モデルを用いて見積もった。$B2$ 規則度は(200)超格子線と(400)超格子線の強度比から、$L2_1$ 規則度は、得られた $B2$ 規則度と(111)超格子線と (220)基本格子線から求めることができる。$B2$ 規則度と $L2_1$ 規則度はそれぞれ、96%と 37%となった。今回の試料では、300°C という比較的低い成膜温度にも関わらず、非常に高い $B2$ 規則度が得られた。一方、$L2_1$ 規則度は、低く、今度向上させる必要があると考えられる。$L2_1$ 規則度の向上には、ポストアニールなどが有効であると考えられる。</p> <p>試料の磁化特性を、試料振動型磁力計 (VSM) を用いて評価した。CFS 薄膜は面内磁気異方性を示し、飽和磁化は、約 1000emu/cc で、バルク値(1100emu/cc)よりも少し小さな値となった。</p> <p>次に、同じ成膜条件で、CFS 層を層厚 1nm にまで薄層化、その上に MgO を積層した。試料構造を図 2(a)に示す。MgO の成膜は、反応性スパッタ法を用い、Ar と O_2 の分圧はそれぞれ 0.13 Pa と 1.4×10^{-3} Pa とし、成膜レートは 0.005nm/s とした。図 2(b)に試料面直方向と試料面内に磁場を印加したときの $M-H$ ループを示す。面直磁場を印加した場合は矩形性の良い磁化ループが観測された。一方、面内磁場を印加した場合は、難易軸的な磁化ループが観測された。これは、CFS 薄膜に垂直磁気異方性が付与されたことを示している。</p> <p>垂直磁気異方性の起源を検討するため、CFS 層厚を変化させて磁化特性を評価した。CFS 層厚が 0.6nm~1nm</p>	

の場合は、試料は垂直磁気異方性を示したが、CFS 層厚が 2nm 以上の場合には、面内磁気異方性を示した。これは CFS に付与された垂直磁気異方性が、界面の磁気異方性に起因することを示している。また、CFS 層厚が 1 nm の場合でも、MgO 層がない試料は面内磁気異方性を示した。以上より、得られた垂直磁気異方性が CFS/MgO の界面磁気異方性に起因することを明らかにした。

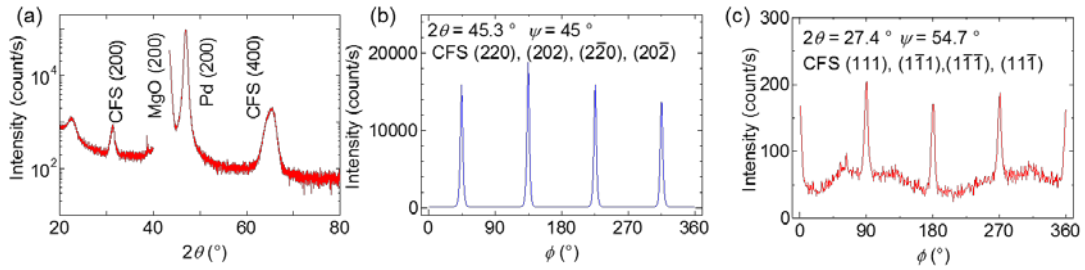


図 1 XRD パターン

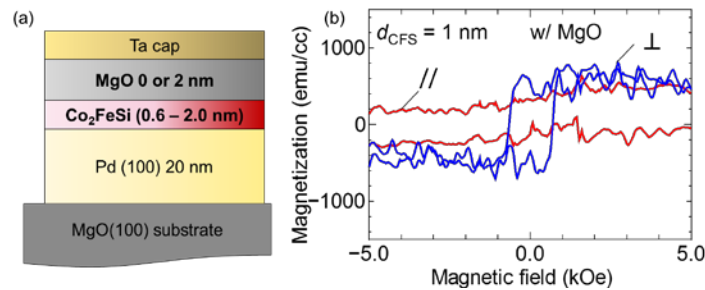


図 2 (a) 試料構造(b) *M-H*ループ

結論と今後の課題

対向ターゲット式スパッタ法を用いて、 L_{21} 型のフルホイスラー合金 Co_2FeSi 薄膜を形成した。 B_2 規則度と L_{21} 規則度は 96%と 37%だった。さらに、CFS を 1 nm に極薄層化し、MgO を積層することで、CFS 層に垂直磁気異方性を付与することに成功した。また、得られた垂直磁気異方性が CFS/MgO 界面に起因することを明らかにした。本研究成果は、ハーフメタル強磁性体を用いた垂直磁化型 MTJ に直接適用できる。

今後は、 L_{21} 規則度の向上や CFS/MgO 構造の垂直磁気異方性の定量評価や、MgO トンネルバリア上に形成した CFS 極薄膜に対しても、垂直磁気異方性を付与することが重要だと考えられる。

使用内訳書

費目	内訳	金額
備品 1	パーソナルコンピューター	147,800 円
備品 2	ノートパソコン	119,800 円
消耗品	乾燥窒素ガス他	192,970 円
旅費	応物(同志社大学), MMM(Denver, USA), 交通費	514,200 円
その他	学会参加費他	82,980 円
合計		1,000,000 円

記入上の注意：

備品は、品名ごとに記入。

差額が生じた場合は、消耗品で調整。

消耗品を購入しなかった場合は、経費の差額と補填した予算科目名を合計額の内訳欄に記入。