

B2 型 $\text{Co}_2\text{FeSi}_{0.5}\text{Al}_{0.5}/\text{MgO}/\text{Si}$ スピン注入源の作製と評価

川目悠¹, 悪七泰樹¹, 周藤悠介¹, 高村陽太², 菅原聡¹

(¹東工大院像情報, ²東工大電子物理)

Preparation and characterization of a B2-ordered $\text{Co}_2\text{FeSi}_{0.5}\text{Al}_{0.5}/\text{MgO}/\text{Si}$ spin injector

Y. Kawame¹, T. Akushichi¹, Y. Shuto¹, Y. Takamura², and S. Sugahara¹

(¹Imaging Sci. and Eng. Lab, Tokyo Inst. of Tech., ²Dept. of Physical Electronics, Tokyo Inst. of Tech.)

はじめに

近年, 低消費電力集積回路のキーデバイスとして, MOSFET 型のスピントランジスタであるスピン MOSFET が注目されている[1]. スピン MOSFET を実現するためには, スピン注入および検出の高効率化が重要となる. ハーフメタル・フルホイスラー合金 $\text{Co}_2\text{FeSi}_{1-x}\text{Al}_x$ (CFSA)は, B2 構造でも十分なハーフメタル性を示し[2], また室温に比べてキュリー温度($\sim 1100\text{K}$)が十分に高く, さらに Si とのバリアハイトを十分に低減させることが可能であるため, Si チャネルに対する高効率スピン注入源の強磁性電極として極めて有望である[3]. 今回, 我々は Si チャネルへのスピン注入源として実績のある MgO トンネルコンタクト上に, 分子線堆積(MBD)法を用いて高品質 CFSA 薄膜の形成を実現した. さらに, CFSA/MgO/Si 接合をスピン注入源とする 3 端子スピン蓄積デバイスを作製し, スピン注入・抽出の評価を行った.

実験方法

作製したサンプル構造は CFSA(30nm)/MgO(3nm)/ n^+ -Si($4 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$)である. サンプルは, MBD/ラジカル酸化/スパッタ装置を超高真空下で接続したマルチチャンバースystemを用いて, 真空一貫で作製した. MgO は, マグネトロンスパッタを用いて Si 基板に Mg を 1.5nm 堆積し, 室温でラジカル酸化を行った後, ラジカル酸素を照射しながらアニールを行うことにより膜質を改善した. 次に, MBD 法により $\text{Co}_2\text{FeSi}_{0.5}\text{Al}_{0.5}$ を基板温度 400°C で堆積した. スピン注入源の構造評価は, XPS, XRD (規則度の解析には本研究室考案の拡張 Webster モデル[4]を用いた), TEMを用いた. また, スピン注入の評価は, 3 端子スピン蓄積デバイスを作製し, 蓄積スピンの Hanle 効果測定を用いた.

実験結果

まず, XPS によって界面構造の評価を行った. MgO と Si の界面にサブオキไซด์が MgO の室温形成時から存在したが, 400°C までのラジカル酸素アニールでも変化せず, この界面構造は安定であることがわかった(Si の酸化は進まない). 次に, 400°C でラジカル酸素アニールを施したサンプル上に MBD 法により, CFSA を堆積した. XRD による極点図解析から, CFSA が面内無配向の(100)配向柱状多結晶であることを確認した. また, 明瞭な(200)規則格子線が観測され(Fig.1), CFSA が少なくとも B2 構造を有していることがわかった. 拡張 Webster モデルを用いて算出した B2 規則度は約 63%であった. TEM 観察から, CFSA 薄膜は柱状配向した多結晶であることを確認した. この結果は XRD と一致した. また, MgO/Si 界面には, 大きなラフネスは観測されず, 急峻な界面が形成されていることがわかった(Fig.2). 次に, CFSA/MgO/Si をスピン注入源とする 3 端子スピン蓄積デバイスを作製し, Hanle 効果の測定を行った(Fig.3). スピン抽出測定では, 明瞭な Hanle 信号が得られたが, スピン注入測定では得られなかった. 抽出側で得られた Hanle 信号は, ローレンツ関数ではフィッティングすることは出来ず, Si チャネルに蓄積したスピンを表現できる解[5]をローレンツ関数と重ね合わせることでフィッティングが可能となった. この結果は, CFSA/MgO/Si トンネル接合を用いたスピン抽出の実現を示唆するものである.

参考文献

- (1)S. Sugahara, IEE Proc. Circuits Devices Syst. **152**, 355 (2005).
- (2)T.M.Nakatani et al., J. Appl. Phys. **102**, 033916 (2007).
- (3)Y. Kawame et al., the 12th Joint MMM-Intermag Conference, paper EI-06 (2013).
- (4)Y. Takamura, et al., J. Appl. Phys. **105**, 07B109 (2009).
- (5)Y. Takamura, et al., J. Appl. Phys. **115**, 17C307 (2014).

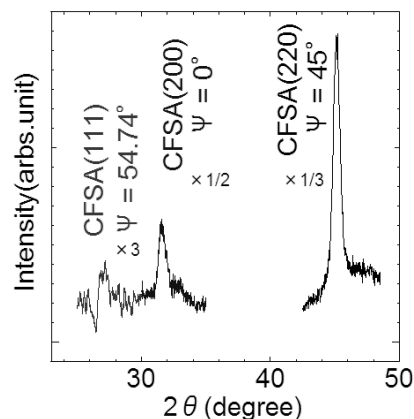


Fig. 1 XRD superlattice lines for a CFSA film formed on a high quality MgO/Si structure.

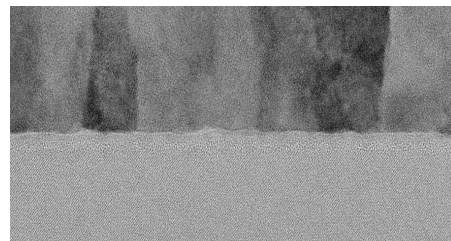


Fig. 2 TEM image of the fabricated CFSA/MgO/Si structure

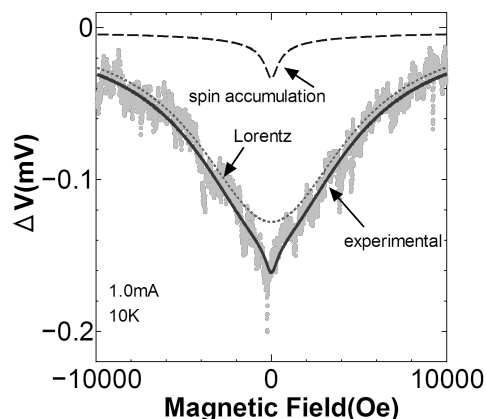


Fig. 3 Hanle-effect signal and its fitting curve