

CoFe/TiO₂/Si トンネルコンタクトの作製とそのスピン注入源への応用

高橋克典¹, 悪七泰樹¹, 周藤悠介¹, 高村陽太², 菅原聡¹

(¹ 東工大像情報, ² 東工大電子物理)

Fabrication of a CoFe/TiO₂/Si tunnel contact and its application for spin injector

K. Takahashi¹, T. Akushichi¹, Y. Shuto¹, Y. Takamura², and S. Sugahara¹

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

はじめに

スピン MOSFET[1]を実現するためには Si チャネルに適合したスピン注入源の開発が重要になる。特に、オン状態におけるチャネル抵抗を考慮した設計が、スピン注入効率とデバイス性能から重要になる。スピン MOSFET の実現が期待されるナノスケールのチャネルでは、チャネル抵抗は非常に低く、これまで研究が進められている AlO_x や MgO をトンネル障壁としたスピン注入源では、抵抗が大きすぎて適切ではない。今回、我々はナノスケールのチャネルに適合したスピン注入源のトンネル障壁として、TiO₂を提案する。TiO₂はSiとの接合において伝導帯側に0.1eV程度の低いエネルギー障壁を形成[2]することから、CoFe₂Si_xAl_{1-x}などの低仕事関数の強磁性金属を用いることで、非常に低いトンネル障壁(低抵抗)のスピン注入源を実現できると期待される。また、TiO₂は低抵抗のMTJとして研究されていたこともあり、TMRも観測されている[3]。したがって、強磁性金属/TiO₂/Si トンネルコンタクトはスピン MOSFET のスピン注入源として有望である。ラジカル酸化を用いた TiO₂/Si 構造の形成と、これを用いたスピン注入源の検討について報告する。

実験方法

Si 上への TiO₂ の形成では、界面におけるシリサイドの形成を防ぐために、まず室温で Si 上に Ti をスパッタで堆積し、さらに室温でラジカル酸化を行うことで TiO₂ の形成を行った。次いで、膜質の向上のために、この TiO₂/Si 構造形成後に、ラジカル酸素雰囲気中でアニールを行った。界面構造を XPS によって評価を行い、電気特性はダイオードを作製して、電流密度-電圧(*J-V*)特性から評価した。さらに、3 端子スピン蓄積デバイスを作製して、Si へのスピン注入を評価した。

実験結果

はじめに、室温でラジカル酸化によって形成した TiO₂/Si およびラジカル酸素アニール処理した試料を XPS によって評価した。Fig. 1(a),(b)に Ti2p スペクトル, Si2p スペクトルをそれぞれ示す。室温でのラジカル酸化後 400°C のラジカル酸素アニールまでは界面にサブオキシドが観測されるのみで界面構造に劣化がないことがわかった。一方、500°C でラジカル酸素アニールを行うと Si⁴⁺(SiO₂)は観測されないものの、Si のサブオキシドの増大が確認され、界面構造が変化したことがわかった。次にラジカル酸素アニールの効果を Al/CoFe/TiO₂/n⁺-Si(P;4×10¹⁹cm⁻³)/Al 構造のダイオードを作製し、*J-V* 特性から評価した。室温でラジカル酸化のみを行った試料ではバラツキが大きかったが、400°C でラジカル酸素アニールを行うことで、特性のバラツキは大きく減少した。ピンホールなどの欠陥が減少したと考えられる。また、この *J-V* 特性から、TiO₂ と Si との間の障壁高さはおよそ 0.1eV 程度と見積もることができた。次に、CoFe/TiO₂/n⁺-Si(P;4×10¹⁹cm⁻³)をスピン注入源としたスピン蓄積デバイスの作製を行い、蓄積スピンの Hanle 効果の測定を行った。Fig. 2(a),(b)に結果を示す。注入および抽出で明瞭な Hanle 信号の観測に成功した。また、得られた波形はローレンツ関数のみではフィッティングすることができず、Si チャネルに注入された蓄積スピンの Hanle 効果を正しく表現できる関数形[4]を加えることで、波形を再現することができた。この結果は、CoFe/TiO₂/n⁺-Si トンネルコンタクトによって、Si チャネルへスピン注入できたことを示唆する。

参考文献

- 1) S. Sugahara, IEE Proc. Circuits, Devices & Sys. **152**, 355 (2005).
- 2) J. Robertson, J. Vac. Sci. Technol. B **18**, 1785 (2000).
- 3) J. Gang. Zhu, and C. Park, Mater. Today, **9**, 36(2006).
- 4) Y. Takamura, *et al.*, J. Appl. Phys. **115**, 17C307 (2014).

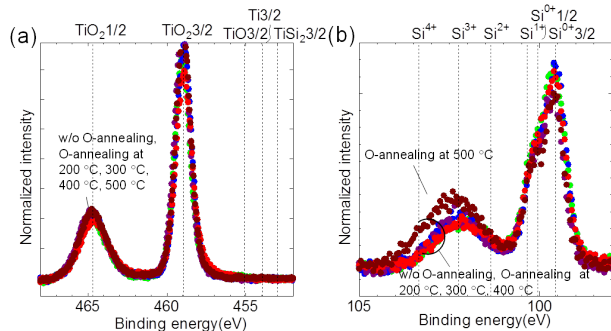


Fig. 1 (a) XPS Ti2p spectra and (b) Si2p spectra for an as-oxidized TiO₂/Si sample at room temperature and TiO₂/Si samples with radical oxygen annealing at 200°C, 300°C, 400°C, and 500°C

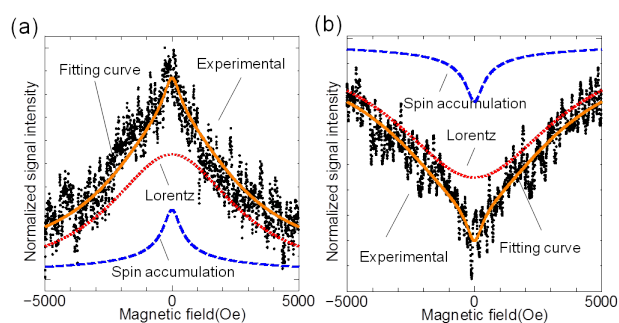


Fig. 2 Hanle-effect signals at 10K for (a) spin injection and (b) spin extraction measurements. Their various fitting curves are also shown.