

n 型 Si チャネルを用いた室温での長距離スピン輸送とその定量的評価

Quantitative investigation of long-range spin transport in n-type Si at room temperature

阪大院基礎工¹, 京大院工², TDK 株式会社³, 秋田県産業技術センター⁴○亀野 誠^{1,2}, 安藤 裕一郎², 新庄 輝也², 白石 誠司²,小池 勇人³, 佐々木 智生³, 及川 亨³, 鈴木 淑男⁴Osaka Univ.¹, Kyoto Univ.², TDK Corporation³, AIT⁴°M. Kamen^{1,2}, Y. Ando², T. Shinjo², M. Shiraishi², H. Koike³, T. Sasaki³, T. Oikawa³, T. Suzuki⁴E-mail: kamen¹@semi.ee.es.osaka-u.ac.jp

電子のもつ電荷自由度に加えスピン自由度を積極的に利用し、Beyond-CMOS デバイスのひとつとして提案されている半導体をスピン輸送チャネルとする Spin-MOSFET などの新奇デバイスの創成が期待されている。その背景のもと我々は、従来の半導体エレクトロニクスに広く用いられているシリコン(Si)をスピン輸送チャネルとするスピバルブ素子を用いて電気的スピン注入を行い、そのスピン輸送特性を定量的に評価してきた。その一端としてスピン輸送チャネル中の電場に依存するスピンドリフト効果の実証が当研究グループによってなされ、スピン輸送におけるスピンドリフトの重要性を明らかにした[1,2]。さらに応用上求められる Spin-MOSFET の駆動の条件として①室温で、②チャネル制御可能な半導体チャネルを用いた、③長距離輸送可能でロバストなスピン輸送がクリアすべき課題である。非縮退 Si チャネルを用いたスピン輸送特性を明らかにすることは Si Spin-MOSFET の創成に対して極めて重要なマイルストーンであると考え、ドーピング濃度: $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の n 型 Si スピバルブ素子を用いたスピン輸送特性について定量的評価を行った。

今回の測定試料はリン(P)をドーピングした SOI 基板の n 型 Si 層(ドーピング濃度 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) で、強磁性電極には Fe を、非磁性電極には Al を蒸着したスピバルブ素子(Fig.1)である。Fe 電極直下の Si チャネルには高ドーピング層を施し、さらに MgO(0.8 nm)を積層することでトンネル過程によるスピン注入を試みた。外部磁場を面直に印加し Si チャネル中を輸送するスピンに対して歳差運動を誘起することで、スピンのドリフト、拡散、歳差、緩和を観測できる Hanle 効果を利用した。電流源と電圧測定器の配置については Fig.2 に示す。測定は全て室温にて行い、バイアス電流は直流電流を用いた。

強磁性電極間距離が約 21 μm のスピバルブ素子において Fig.2 に示す配置(MRF 配置)で Hanle 効果を測定した結果を Fig.3 に示す。明瞭な Hanle 信号が得られ、スピン拡散長を大きく凌駕する長距離スピン輸送に成功した。さらにスピン歳差回転角が 4π に至るまで観測できた。ここでスピン拡散長よりも長距離をスピン輸送できているのはスピンドリフトの効果によって定量的説明が可能である。学会ではさらに詳細かつ定量的な議論を行い、バイアス電流依存性バックゲート電圧依存性を測定した結果も併せて報告する。

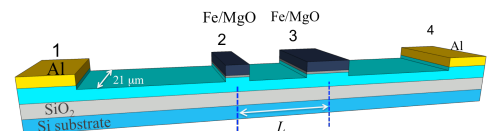


Fig.1 Schematic image of a sample structure

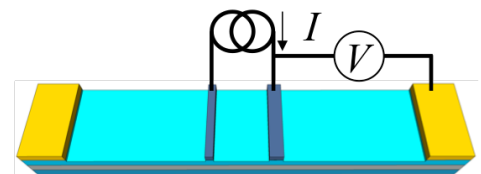


Fig.2 Measurement in an MRF configuration

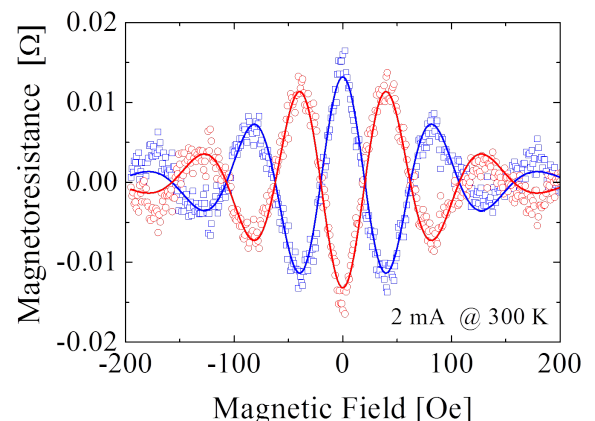


Fig.3 Spin signals under 2 mA dc bias current in MRF at R.T.

1. M. Kamen¹ *et al.*, Appl. Phys. Lett. **101**, 122413 (2012).2. M. Kamen¹ *et al.*, Appl. Phys. Lett. **104**, 092409 (2014).