

n^+ -Si スピン伝導チャネルにおけるスピン緩和について

Study of spin relaxation in n^+ -Si channel layers

日大工¹, 阪大院基礎工² °石川 瑞恵¹, 浜屋 宏平²

Nihon Univ.¹, Osaka Univ.², °Mizue Ishikawa¹, Kohei Hamaya²

E-mail: ishikawa.mizue@nihon-u.ac.jp

1. はじめに

次世代半導体デバイスとして期待される Si スピン MOSFET^[1]を実現するためには、ソース・ドレイン構造に用いられる縮退系 n^+ -Si 中でのスピン伝導特性を理解し、高性能化への指針を掴まなければならない。Si 中でのスピン緩和機構は、これまで Elliott-Yafet (EY)機構^[2,3]が支配的と考えられてきたが、近年、フォノン^[4,5]やドナー不純物^[6]に起因する伝導帯の谷間スピン散乱の影響を議論した新理論が提唱されており、EY 機構だけでは説明できないことが示唆されている。本研究では、これまでの研究から大きなスピン信号が得られている CoFe/MgO/ n^+ -Si 横型スピバルブ微細素子を用いて、 n^+ -Si 中でのスピン緩和について議論する。

実験方法 リンを高濃度にドーピング($\sim 1.6 \times 10^{19}/\text{cm}^3$)した SOI(Si on insulator)基板を準備し、CoFe(10 nm)/MgO(0.6 nm)積層膜をそれぞれマグネトロンスパッタ法および電子線蒸着法により成膜した。成膜後、電子線リソグラフィ、Ar イオンミリングを用いて磁性体電極を加工し横型スピバルブ微細素子を作製した。作製した素子を用いて、非局所 4 端子磁気抵抗・Hanle 効果測定によりスピン拡散長およびスピン緩和時間を算出し、その温度依存性を評価した。

2. 結果および考察

Fig. 1 に本実験から算出されたスピン緩和時間(τ_{Si})の温度依存性を示す。スピン緩和時間は温度の増加にともない緩やかな減衰^[7]を示した。また、今回得られた結果について不純物濃度が同程度の n^+ -Ge の場合^[8]と比較すると、 n^+ -Si のスピン緩和時間は 1 桁程度大きく、温度依存性も大きいことがわかる。一方、 n^+ -Si のスピン緩和機構については、最近 S. Lee らによって不純物濃度が $\sim 5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ の n^+ -Si における結果が報告^[9]されており、その結果と我々の結果は若干異なっているようにも見える。当日はこれらの結果を踏まえ、上述のドナー・フォノン誘起谷間スピン反転散乱の影響について議論する。

本研究の一部は、科学研究費補助金(19K23522)の支援を受けて行ったものである。

- [1] S. Sugahara and M. Tanaka, *Appl. Phys. Lett.*, **84**, 2307 (2004). [2] R. J. Elliott, *Phys. Rev.* **96**, 266 (1954). [3] Y. Yafet, *Solid State Physics*, edited by F. Seitz and D. Turnbull (Academic, New York, 1963), **14**, p.1. [4] Y. Song and H. Dery, *Phys. Rev. B* **86**, 085201 (2012). [5] J.-M. Tang *et al.*, *Phys. Rev. B* **85**, 045202 (2012). [6] Y. Song *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **113**, 167201 (2014). [7] M. Ishikawa *et al.*, *Physical Review B* **95**, 115302 (2017). [8] Y. Fujita *et al.*, *Phys. Rev. Appl.* **8**, 0147007 (2017). [9] S. Lee *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **110**, 192401 (2017).

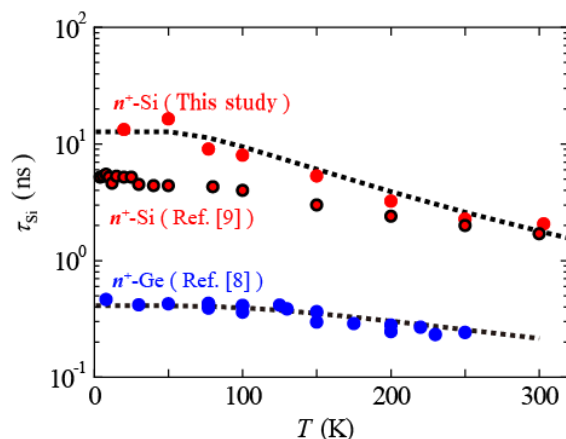


Fig. 1. Temperature dependence of τ_{Si} in heavily doped n -type Si^[7,9] and Ge^[8].