

プログラム名：「無充電で長期間使用できる究極のエコ IT 機器の実現」

PM名： 佐橋 政司

プロジェクト名： スピン FET プロジェクト

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平成 2 7 年 度

研究開発課題名：

低 R A ・ 高 ス ピ ン 偏 極 ソ ー ス / ド レ イ ン 電 極 の 開 発

研究開発機関名：

株式会社東芝 研究開発センター

研究開発責任者

斉藤 好昭

I 当該年度における計画と成果

1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

スピンFET-Pj東芝・齊藤Gr.では、スピンFETのソース/ドレイン電極用の高性能強磁性/(トンネル障壁)/半導体接合を開発することを目的としている。ソース/ドレインの接合特性は、オン電流の磁気応答感度や素子動作速度に直接影響する。高い磁気応答感度には高スピン偏極率、高速動作には低RA接合特性を得ることがそれぞれ重要となる。H27年度は、H26年度の結果を進展させ、スピン偏極率 (P_{Si}) 30%以上が得られる強磁性/(トンネル障壁)/半導体接合の構造および作製条件を見出すとともに、低RA領域のスピン信号観測に向けた実験を開始し、低RA領域のスピン信号観測実現のための指針を得ることを目標とした。

以下に、H27年度に得られた成果と進捗状況を示す。

2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

2-1 進捗状況

H27年度は、**図1(a) (b)**に示した強磁性/MgO/Si(100) 接合を有する試料を作製し、強磁性/MgO/Si(100)接合の界面構造・界面状態、強磁性体の種類がSiへのスピン注入効率およびスピン蓄積・スピン伝導特性に及ぼす影響を調べた。その結果、高スピン偏極強磁性材料であるホイスラー合金 Co_2FeSi 電極からSiへのスピン注入効率は、CoFeからSiへのスピン注入効率に比べ大きいことを見出した。本試料のポストアニール依存性を評価した結果、スピン注入効率 $P > 30\%$ を実現した。また、強磁性/MgO/ n^+ -Siデバイスにおいて、界面近傍10 nm厚さ領域のみ高濃度不純物濃度 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ドーピングを行った高濃度不純物をSi界面のみにConfinedさせた試料 (**図1(b)**) を作製し、世界で初めて、界面抵抗 $RA < 1 \text{ k}\Omega \mu\text{m}^2$ でスピン信号を観測することに成功した。上記結果より、H27年度の目標が達成され、担当研究開発Pjは順調に進捗していると言える。以下に成果の詳細を示す。

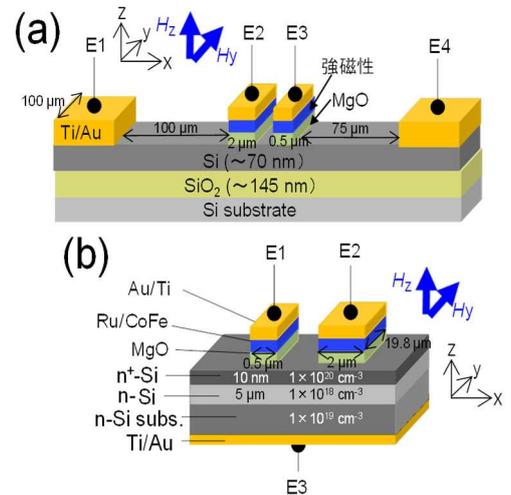


図1 作製した試料概略図

2-2 成果

H27年度は、**図1(a) (b)**に示した強磁性/MgO/Si(100) 接合を有する試料を作製し、低RA・高スピン偏極ソース/ドレイン電極の開発に取り組み、以下に示す1)~3)に示した新たな知見を得ることに成功した。

- 1) **図1(a)**に示した強磁性/MgO/Si(100) 接合を有する試料を作製し、強磁性体の種類がSiへのスピン注入効率およびスピン蓄積・スピン伝導特性に及ぼす影響を調べた。その結果、高スピン偏極強磁性材料であるホイスラー合金 Co_2FeSi 電極からのSiへのスピン注入効率は、CoFe合金からSiへのスピン注入効率に比べ大きいことを見出した (**図2**)。4端子 Hanle 信号から見積もったSiへのスピン注入効率は、3端子のスピン寿命が長い(線幅が狭い) Hanle 信号から求めたスピン

注入効率と良い一致を示し、4端子 Hanle 信号および3端子のスピン寿命が長い Hanle 信号から正しい Si へのスピン注入効率を見積もることが可能であることが明らかとなった。(Appl. Phys. Lett. Vol. 107, pp. 092402/1-5, 2015 参照)。また、作製した図1(a)のデバイスのポストアニール依存性を評価した結果、強磁性(CoFe、C₂FeSi)/MgO/n⁺-Siデバイスの400度Cまでの耐熱性を確認した。強磁性体にホイスラー合金Co₂FeSiを用いたデバイスにおいて、Si へのスピン注入効率P=31%を実現した(図3)。図3に示したように、PとSiを介した強磁性間のスピン信号強度(ΔR_{Local})はアニール温度(T_A)に対して325から350度Cで緩やかな最大値を示す。この結果は、スピン注入効率を大きくすれば、Siを介した強磁性間のΔR_{Local}も増大することを示している。

- 2) Siの表面処理を異としたSi(2×1)清浄表面上に作製したデバイスと、Si(1×1)表面上に作製した図1(a)に示したCoFe/MgO/Si(100)接合を有するデバイスを作製した。その結果、Si(2×1)清浄表面を用いると、スピン信号強度が増大するとともに、スピン緩和時間の試料間バラつきが著しく減少することを見出した。
- 3) 強磁性/MgO/n⁺-Siデバイスにおいて、界面近傍10 nm厚さ領域のみ高濃度不純物ドーピングを行ったデバイス(図1(b)構造)(不純物濃度1×10²⁰ cm⁻³)を作製した。その結果、高濃度不純物をSi界面のみにConfinedさせた試料において、世界で初めて、界面抵抗RA<1kΩ μm²においてスピン信号を観測することに成功した。本結果は、低RA領域のスピン信号を観測するためには、高濃度不純物ドーピング領域を強磁性/半導体界面の極薄膜領域にConfinedさせた界面構造が有効であることを示唆していると考えられる。今後、詳細にデータを解析し、低RA領域で半導体への高スピン注入効率を実現し、大きなMR変化率の実現を目指す。

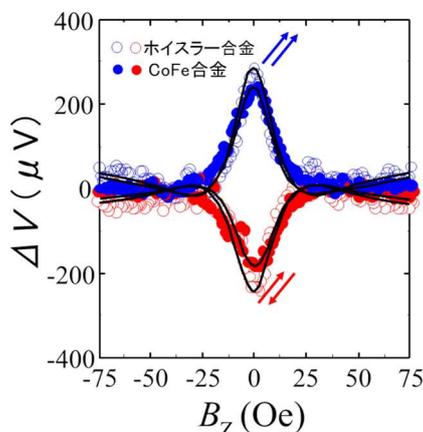


図2 観測した4端子 Hanle 信号

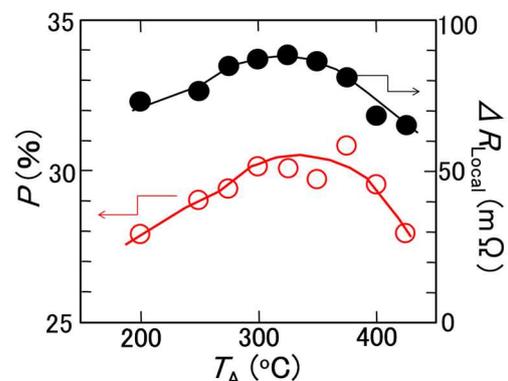


図3 Si へのスピン注入効率と強磁性間のスピン信号強度のアニール温度依存性

以上の結果より、H27年度の目標であった「スピン偏極率 (P_{Si}) 30%以上が得られる強磁性/(トンネル障壁)/半導体接合の構造および作製条件を見出すとともに、低RA領域のスピン信号観測に向けた実験を開始し、低RA領域のスピン信号観測実験のための指針を得る」ことに成功した。したがって、H27年度の目標は達成された。

2-3 新たな課題など

特に無し

3. アウトリーチ活動報告

特に無し