

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 8 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

齊 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Si中の高スピン偏極率、高速動作には低RA接合特性がそれぞれ重要となる。3端子および4端子Hanle測定、非局所信号測定、局所信号測定により、Si中のスピン蓄積信号およびSiを介したスピン伝導信号の室温での観測が報告されているが、本ImPACT-Pjを開始した当時は、Si中へのスピン偏極率の値は15%程度と小さく、さらなる高スピン注入効率の実現が必須であった。また、報告されていたスピン注入が観測されていた界面抵抗(RA)は数 $10\text{ k}\Omega\ \mu\text{m}^2$ 程度と大きく、スピントランジスタ実現には、低RAで高スピン偏極が実現できるソース/ドレイン電極の開発が必要であった。

本研究課題に係る課題を解決することを目標としてなされたものであり、H28年度はH27年度の結果を発展させ、 n^+ -Siなどの半導体(ソース/ドレイン)偏析不純物界面上に作製したスピン偏極率50%以上、 $RA\ 1\text{ k}\Omega\ \mu\text{m}^2$ 以下、スピン寿命1 nsec以上を満たす高性能強磁性/(トンネル障壁)/半導体接合電極を開発することを目標とした。

以下に、H28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

本Pj開始時は、スピン偏極率の値 $P\sim 15\%$ と小さな値であったが、昨年度は $P\sim 31\%$ まで特性を改善した。今年度は更なる特性改善を行い、強磁性/MgO/Si(100)接合の界面構造・界面状態、強磁性体の種類、ポストアニール条件を最適化することにより、Si中のスピン偏極率は飛躍的に大きな値となること(Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 56, pp. 04CD05/1-5, 2017参照)、さらにチャネル幅を短縮することにより、 $P=52\%$ 、スピン寿命 $\sim 1\text{ nsec}$ を実現することに成功した。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(AIP Advances Vol. 7, pp. 055937/1-6, 2017参照)を作製し、世界で初めて、界面抵抗 $RA\sim 1\text{ k}\Omega\ \mu\text{m}^2$ でスピン信号を観測することに成功した。したがって、本Pjの今年度の目標は達成された。

2-2 成果

本Pjにおいて、様々な界面状態を有する強磁性/MgO/Si(100)接合デバイスを作製し、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)~4)に示した新たな知見を得ることに成功した。

- 1) 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)表面上に作製した強磁性/MgO/Si(100)接合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。

2) 高スピン偏極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。

3) 強磁性(CoFe , C_2FeSi)/ $\text{MgO}/\text{n}^+\text{-Si}$ デバイスのポストアニール依存性を評価した結果、400度Cまでの耐熱性を確認した。 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した。

H28年度は、上記1)～3)の知見をもとに、強磁性 $\text{C}_2\text{FeSi}/\text{MgO}/\text{n}^+\text{-Si}$ 界面状態の最適化を実施し、チャンネル長を5 μm に短縮したデバイスを作製し4端子Hanle法を用いてSi中のスピン偏極率 (P)、スピン寿命を評価した(図1)。その結果、 $P = 52\%$ 、スピン寿命 ~ 1 nsecの実現に成功した。

4) 強磁性/ $\text{MgO}/\text{n}^+\text{-Si}$ デバイスにおいて、界面近傍10 nm、20 nm厚さ領域のみ高濃度不純物ドープを行った偏析不純物界面を有するデバイス(不純物濃度 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 、 $\text{RA} \sim 1 \text{ k}\Omega \mu\text{m}^2$)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、 $\text{RA} 1 \text{ k}\Omega \mu\text{m}^2$ 以下においてスピン信号を観測することに成功した(図2)。本結果は、低RA領域のスピン信号を観測するためには、高濃度不純物ドープ領域を強磁性/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。以上示したように、本Pjの今年度の目標は全て達成された。

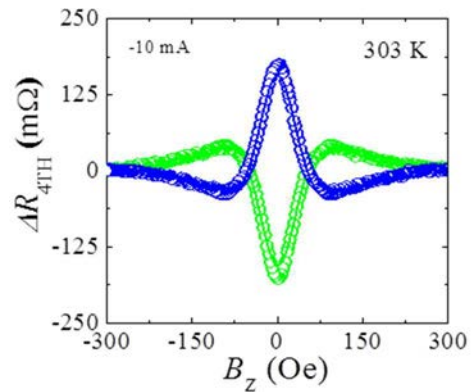


図1. 観測した4端子Hanle曲線

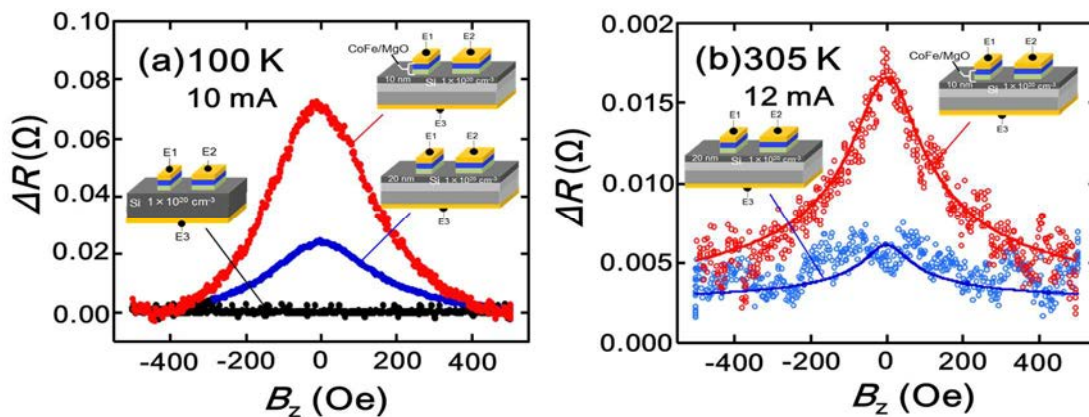


図2. 強磁性/半導体界面の極薄膜領域に高濃度不純物ドープ領域を偏析させたデバイスにおけるスピン蓄積信号 ((a)100 K, (b)305 KでのHanle測定結果)

2-3 新たな課題など

特になし

3. アウトリーチ活動報告

特になし