

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28年度

研究開発課題名：

低RA・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：

東北大学大学院工学研究科

研究開発責任者

大兼 幹彦

# 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 などの様々なスピントランジスタ素子が提案されており、その実現に対する期待は非常に大きい。しかし、強磁性体から半導体への高効率なスピン注入が実現されていないことが、トランジスタ素子実現の障害となっている。本研究では、強磁性体、半導体、トンネル絶縁層材料、それぞれについて新規材料を開拓、開発して高効率スピン注入を実現することが目的である。開発した材料および作製技術を、東芝、産総研などの素子開発グループに提供してスピントランジスタの実現を目指す。

H26-27 年度までに Si および Ge 基板上に約 80%以上の規則度を有するホイスラー合金薄膜の作製に成功した。H28 年度は、これまでの結果をもとにして、ホイスラー合金の高品位化を継続して進める。また、ホイスラー合金/絶縁体/半導体接合を作製し、大きなスピン注入信号の観測を目指す。さらに、ホイスラー合金薄膜と相性の良い、新規絶縁層材料の探索を並行して進め、スピン FET を実現するための課題と指針を提案する。

## 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

前年度に引き続き、 $\delta$  ドープ n 型 Ge 基板を産総研グループから提供を受け、スピン注入信号の観測とそのメカニズム解明に取り組んだ。前年度観測されたスピン注入信号（3 端子ハンル）の印加電流依存性は再現性があることを確認した（Fig. 1）。そこで、信号の強度および半値幅から得られるスピン緩和時間の電流依存性を詳細に調べた。Fig. 2 (a) に緩和時間の電流依存性を示す。スピン注入信号を 3 つのローレンツ関数を用いてフィッティングすることで、3 種類の緩和時間に分類した。その結果、それぞれの緩和時間の電流依存性は小さいことが分かった。それぞれの緩和時間の値は、短い方から 10-20 ps, 80-100 ps, 500-1000 ps であった。先行研究の報告例から、10-100 ps の間で観測された緩和時間は、半導体界面における界面準位でのスピン緩和に起因すると考えられる。本実験では 2 種の緩和が観測されたことから、2 つの界面状態が形成されていると考えられる。一方、500-1000 ps の長い緩和は Ge バルク内に注入されたスピンに起因するものと考えられる。Fig. 2 (b) に信号強度の電流依存性を示す。界面準位に起因すると考えられるスピン信号強度は 10~100 mV であり、理論から予測される値よりも 10 倍以上大きかった。このことから、これらの信号は Ge バルク内でなく、界面準位に起因するものと考えられる。一方、緩和時間が長いスピン注入信号の強度は数 mV であり、理論から予測される値とほぼ一致した。このことから、緩和時間の長いスピン注入信号は Ge バルク内に注入されたスピン起因であると結論付けた。

前年度に引き続き、新規絶縁層材料としてアナターゼ型の  $\text{TiO}_2$  薄膜の作製を行った。 $\text{TiO}_2$  絶縁層は障壁高さが小さくなることが理論的に示唆されており、低抵抗素子を実現するためにも有用な材料である。今年度は前年度検討した Ge 基板に加えて、Si 基板上への作製を検討した。その結果、 $300^\circ\text{C}$  の基板加熱条件でアナターゼ型の  $\text{TiO}_2$  薄膜が作製できることが分かった。また、もう一つの新規絶縁層として  $\text{SrTiO}_3$  絶縁層を検討した。その結果、 $\text{SrTiO}_3$  が基板温度  $500^\circ\text{C}$  以上で形成可能であること、および、 $\text{SrTiO}_3$  上に高規則度のホイスラー合金薄膜が作製可能であることを確認した。

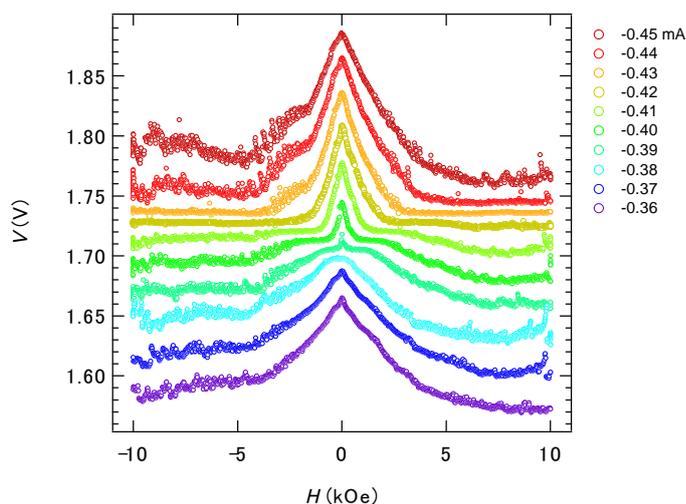


Fig. 1 Ge/Mg/MgO/Co<sub>2</sub>(FeMn)Si 素子におけるスピン注入信号の電流依存性

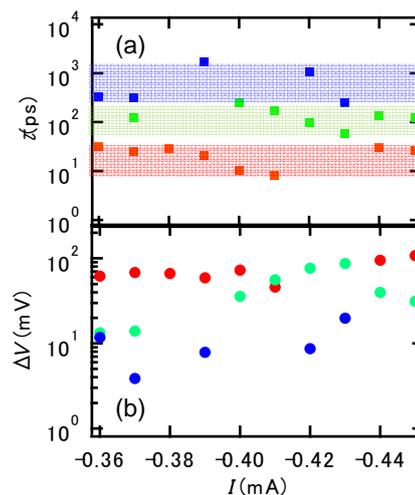


Fig. 2 Ge/Mg/MgO/Co<sub>2</sub>(FeMn)Si 素子におけるスピン注入信号の(a)強度, (b)緩和時間の電流依存性

## 2-2 成果

今年度は前年度に観測された Ge へのスピン注入信号を詳細に解析することで、そのメカニズムに迫った。その結果、長い緩和時間を有するスピン信号は Ge チャネル内のスピン緩和を観測していると考えられ、目標としていたホイスラー合金から Ge へのスピン注入に成功したといえる。

また、新規絶縁層材料の開発については Ge に加えて Si 基板上にも高品質なアナターゼ型  $\text{TiO}_2$  薄膜を作製することができた。さらに、 $\text{SrTiO}_3$  絶縁層の作製にも取り組み、高品質な薄膜が作製可能であることを示すことができた。

## 2-3 新たな課題など

ホイスラー合金から Ge へのスピン注入信号の観測に成功したものの、その信号強度はスピン FET を実現するためには不十分である。今後さらに高品質な半導体/強磁性体接合を作製するための技術開発が必要である。また、材料についても新しい材料開発に積極的にチャレンジして、大きなブレイクスルーをする必要がある。

## 3. アウトリーチ活動報告

福島県立磐城高等学校にてスピントロニクスデバイスの開発意義について講義した。また、日本磁気学会スクールにおいてスピントロニクスの基礎について講義した。