

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：

スピン操作用ゲート開発

研究開発機関名：

国立研究開発法人産業技術総合研究所

研究開発責任者

Ron Jansen

## 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

従来の演算用半導体(揮発性)に磁性体が有する不揮発機能を導入することにより、抜本的な省電力化を図ることができるはずである。そのためには、ロジック機能と不揮発性メモリ機能を兼ね備える”スピンFET”の開発が必要である。

当該年度は、予定していたゲート構造開発から研究計画を見直し、Si チャネルへのスピン注入/検出技術を確立に注力すると共に、メモリー機能に直接的に関わる高い磁気抵抗変化率(MR比)を可能とするトンネル接合の開発を行う。後者について具体的には、メモリー機能の実現に有利であると考えられる縦型チャネルを有するスピンFETの作製を視野に入れ、その基本構造となる半導体中間層を有する新規全単結晶トンネル磁気抵抗(TMR)素子の開発を目指す。

### 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

上記2つの研究開発テーマ(Siへのスピン注入/検出技術および縦型FET用TMR素子開発)両方に大きな進展があった。前者については、これまでの研究により素子の微細加工プロセスに問題があることがわかっていた。そのため、スピンFETプロジェクトの参画メンバーであり、Si系素子の微細加工で実績を挙げてきた大阪大学浜屋教授と共同で素子作製を行ったところ、非常に高い効率のスピン注入/検出を実証することができた。すなわち、検出したスピン信号の大きさを解析することにより、低温でスピン蓄積量が17meV、注入されたスピン偏極電流のスピン分極率約50%(従来は5~15%程度)にそれぞれ達することが明らかとなった。スピン蓄積量、スピン分極率共にSi基素子における最高値である。さらに、室温においても大きなスピン信号が得られており、現在、更に実験を進めている状況である。後者については、今年度から新規に開始した研究であるため、下記にその背景から詳細に説明する。

#### 2-2 成果

スピンFETのメモリー機能の性能指数であるMR比は、実用的には、数十~100%以上が必要とされている。最近MR比を大幅に向上させるために、全単結晶TMR素子をベースとした縦型スピンFETが提案されている。我々はこれまで培ってきたTMR素子作製技術や異種材料間膜成長技術により、強磁性金属電極と半導体障壁層を組み合わせ、高MR比(目標100%)を示す全単結晶TMR素子の開発に取り組んだ。半導体トンネル障壁層材料として酸化物半導体である酸化ガリウム( $\text{Ga}_2\text{O}_3$ )を用いた。この半導体は、結晶構造が複雑であるため、鉄(Fe)などの一般的な強磁性電極と組み合わせた単結晶TMR素子の作製は困難と考えられていた。そのため、これまでTMR素子のトンネル障壁層としてはほとんど注目されていなかった。我々は独自の成膜プロセスを開発して、Fe強磁性電極と $\text{Ga}_2\text{O}_3$ トンネル障壁層から成る全単結晶TMR素子を作製した。

図1に今回開発したTMR素子断面の電子顕微鏡写真を示す。下部の鉄(Fe)電極層から、半導体Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>障壁層、上部のFe層まで、各層の原子が積層方向に直線的に並んでおり、全単結晶TMR素子であることがわかる。

図2に今回開発したTMR素子の室温でのMR比を示す。比較のため、従来の半導体障壁層をもつ全単結晶TMR素子(電極は強磁性金属)での最高値と、今回、Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を単結晶化した効果を調べるため作製したアモルファスGa<sub>2</sub>O<sub>3</sub>障壁層のTMR素子の値も示す。Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>層を単結晶化することによりMR比が大幅に増大し、半導体トンネル障壁層の素子としてはこれまでで最も高い値(92%)を示した。MR比の増大は、単結晶MgOを用いたTMR素子と同様に、トンネル障壁層と上部強磁性電極の単結晶化により電子が波の性質を保ったまま伝搬できるようになった(スピン偏極コヒーレントトンネリング)ためと考えられる。

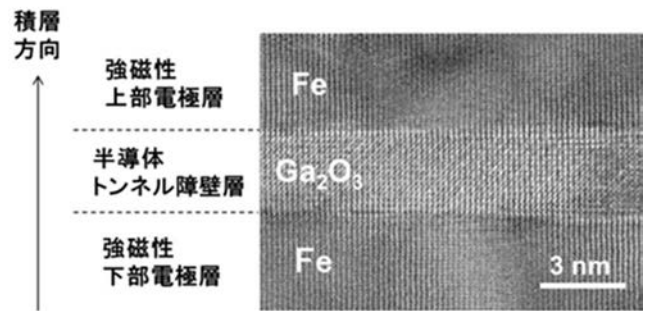


図1 開発したTMR素子断面の電子顕微鏡写真

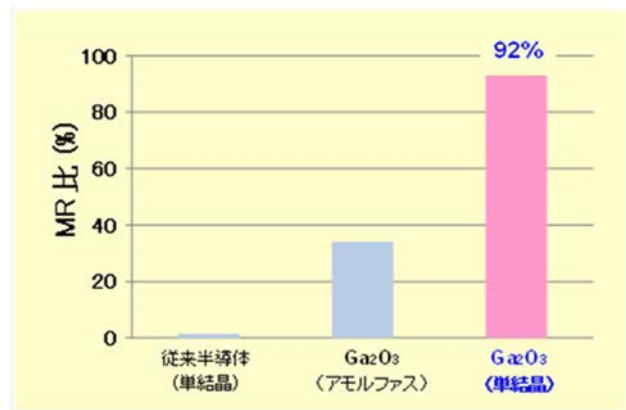


図2 半導体障壁層を有するTMR素子の室温でのMR比の比較

2-3 新たな課題など  
無し

3. アウトリーチ活動報告  
該当無し