

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：

スピン操作ゲート開発

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

本課題で開発に取り組む絶縁性強磁性体を用いた新型スピン操作用ゲートによる電流変調効果は、開発の初期段階では非常に小さい可能性がある。また、同ゲートは半導体チャネル上のソース/ドレイン電極間に作製する必要があり、そのため、動作原理実証のための初期段階では同電極間は比較的長距離(数マイクロメートル程度)離れていることが望ましい。従って、高感度でスピン偏極電流の変化を検知するための素子、すなわち、半導体シリコン(Si)やゲルマニウム(Ge)チャネルを有する非局所スピン検出測定用素子の開発を最優先に行う必要がある。本年度はそのために必要である非局所配置によるスピン検出を、特にSi基素子に対して実証することを目標とする。素子の作製はImPACT参画チームである産総研ナノエレクトロニクス研究センター、大阪大学浜屋研究室および東芝と共同で行う。

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

これまで、産総研遠藤チームと共同でSiをチャネル層とした非局所測定用素子を作製し、磁気輸送特性の評価を行ってきた。この研究、MBEによるソース/ドレイン電極膜成長前のSi基板表面の清浄度に問題があることを示唆する結果を得た。

そこで、用いるSi基板や洗浄方法等を見直すことにより清浄Si表面が得られる条件を見出す。具体的には、これまで使用してきたSOI(Si on Insulator)基板に変えて、高抵抗Si基板上にCVD法により直接製膜したn型Si(Si on Si)ウエハの採用、洗浄時の温度管理の徹底、ベーキング時間の延長によるMBEチャンバー内真空度の向上、およびMgO障壁層蒸着時の不純物ガス量の低減等の対策を講じた。その上で、非局所測定用素子の作製で実績のある大阪大学浜屋研究室と共同で素子作製を行った。強磁性電極には実績のあるFe/MgO単結晶接合を用いた。

図1に作製したSi基非局所測定用試料の模式図を示す。チャネル層となるn型Si層のキャリア濃度および膜厚はそれぞれ $1.6 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ および70nmである。このSiチャネル層上にスピン注入・検出用電極となるFe(10nm)/MgO(1.3nm)をMBE法により製膜し

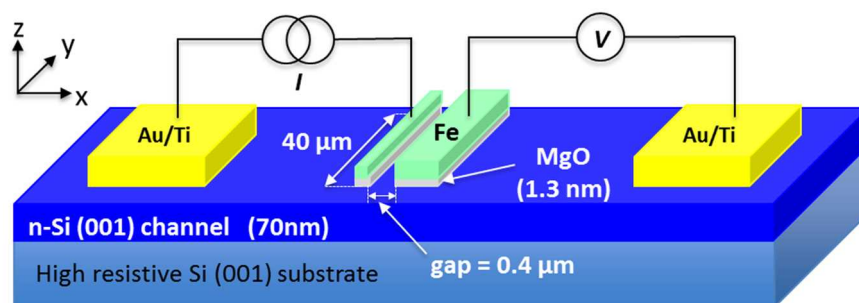


図1 Si基非局所測定用試料の模式図

た。高速反射電子線回折による成長中のその場観察により、Fe および MgO は(001)配向の単結晶であることを確認した。

2-2 成果

作製した素子のスピバルブ効果測定（磁場は面内 y 方向に印加）を行ったところ、低温（10～60K）で磁化の平行・反平行配置に対応する明瞭なスピバルブ信号が観測された。観測されたスピバルブ信号が真に Si 中を流れたスピ流に起因することを確認するために、ハンル効果測定を行った。同効果は外部磁場を膜面に対して垂直方向(z 方向)に印加することにより、非磁性体中に注入された電子スピに歳差運動を引き起こし、それによるスピ緩和過程を電圧により捉えるものである。現在、同効果の観測はスピ注入・検出の検証のための基準となる測定と見なされている。ハンル効果測定結果、零磁場を中心としたローレンツ型のカーブが観測された。また、平行・反平行配置において、ローレンツ型信号の符合の反転が見られた。観測されたこれらの特徴はハンル効果に生ずるべきものであり、したがって、Si 中への電氣的スピ注入・検出が実証されたと結論される。

上記のハンル効果等のスピ依存伝導効果の評価のために、H27 年度予算にて新たに購入した磁場中半導体特性評価装置を中心とした素子評価システムを構築した。

また、Ge 基デバイスに関して、前年度にまで非縮退 Ge (001) 上の Sb 高ドープ層の成長とそれを用いたオーム性接合の実現に成功している。しかしながら、同時に Ge (001) 表面の過剰 Sb 原子による MgO トンネル障壁層の結晶性の劣化が問題となっていた。そこで、今年度、Sb 高ドープ層成長後にウエットエッチングによる過剰 Sb の除去を試み、有効なプロセスを確立した。

Si および Ge 基デバイス両方共に、更なる接合の高品位化に取り組み、室温でのスピ検出を実証し、速やかに新奇ゲートの作製実験に移行する。

2-3 新たな課題など

なし。

3. アウトリーチ活動報告

特に無し