

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：

スピン操作用ゲート開発

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

新田 淳作

# 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

II-V 族半導体をチャネルとするスピン FET の実現に向けて、スピン操作用ゲート開発としてスピン軌道相互作用を用いたスピン電界制御方法の確立を目指す。スピン軌道相互作用はゲート電界によるスピン操作を可能にするが、一方でスピン緩和の要因となる。ラッシュバスピ軌道相互作用とドレッセルハウススピ軌道相互作用を等しい強さにすると電子散乱に対してもコヒーレントなスピンの回転が可能な永久スピン旋回状態が実現する。本プロジェクトではゲート電圧による永久スピン旋回状態と逆スピン旋回状態間の制御を目指す。また、スピン FET に適した面直磁化を有する PtFe からのスピン注入を試みる。

## 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

スピン軌道相互作用によるスピン操作用半導体材料として InGaAs 系半導体二次元電子ガスに着目し、永久スピン旋回状態の電界制御に適したヘテロ構造を設計した。通常 InGaAs 系はラッシュバスピ軌道相互作用がドレッセルハウススピ軌道相互作用に比べて大きいため、両者を等しい強さにするため量子井戸の形状が対称に近づく様にヘテロ構造とキャリア供給層を最適化した。ゲート電極つきホール素子を作製し量子干渉効果による磁気伝導特性から永久スピン旋回状態のゲート電界制御を確認できる。スピン緩和による弱反局在状態からスピン緩和の抑制された局在状態にゲート電圧制御可能であることを確認した。これは永久スピン旋回状態が実現していることを示唆する。今年度は、ゲート電界による永久スピン旋回状態と逆永久スピン旋回状態の制御を目指した。

スピン FET の実現に向けて、電極サイズを小さくするため面直磁化を持つ磁性体電極からのスピン注入が重要となる。これまで、半導体 GaAs 上に面直磁化を有する FePt をエピタキシャル成長できることを確認してきた。本年度は、GaAs 二次元電子ガスへのスピン注入と電氣的測定によるスピン注入・検出を目指した。

### 2-2 成果

ラッシュバスピ軌道相互作用がドレッセルハウススピ軌道相互作用と同程度になるようにスピン電界制御用に最適化した InGaAs 系半導体量子井戸構造を作製した。この量子井戸を用いたゲート電極付きホール素子構造を作製し、量子干渉効果（磁気コンダクタンス特性）を用いてスピン緩和がゲート電圧によって変調する様子を精密測定した。その結果、スピン緩和時間が発散的な挙動を示す異なる 2 つのゲート電圧

があることを観測した。この結果は、数値解析結果ともほぼ一致することからスピン緩和の抑制された2つの異なった「永久スピン旋回状態」と「逆永久スピン旋回状態」間を電界操作することに成功したと結論出来る。このスピン緩和の抑制された2つの状態を電界制御することにより相補型電界効果スピントランジスタ等、電界操作によるスピン演算素子を実現することが可能となる。

スピントランジスタの実現に必要なGaAs系二次元電子ガス(2DEG)を用いたスピン注入・輸送・検出を系統的に測定した。2DEG構造の膜厚とドーピング濃度を最適化し、端子から45 nm深い位置にあるGaAs量子井戸に面直磁化を有するFePt電極からスピンを注入し、そこから検出電極によってスピンを検出する。検出効率を上昇する工夫として2DEGを表面から浅い位置に設定したことと、検出電極をMgOトンネルバリアを用いないFe電極にすることによって、界面を低抵抗にし、電子スピンのやり取り(検出)を促した。スピンスIGNALは電圧として検出し、磁場に対して奇関数になるようなシグナルが得られた、これはスピンの歳差運動によるHanle効果から生じるシグナルであり、この山谷間の電圧強度からスピン偏極率12%を、シグナル形状からスピン緩和時間400psecを得た。

### 2-3 新たな課題など

なし

### 3. アウトリーチ活動報告

なし