



研究課題名 ゲルマニウムスピン MOSFET の実証

大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授 はまや こうへい
浜屋 宏平

研究課題番号： 19H05616 研究者番号： 90401281

キーワード： 半導体スピントロニクス、ゲルマニウム

【研究の背景・目的】

近年注目を浴びている IoT 技術や AI 技術の殆どが半導体技術によって支えられているが、その電力消費量は年々増すばかりであり、低消費電力化技術の開発は喫緊の課題と言える。2004 年に菅原・田中によって提案されたスピン MOSFET (Spin Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor) は、シリコン(Si)のような IV 族半導体からなる伝導チャネルを有する MOSFET 構造のソース・ドレイン電極に高スピン偏極率の強磁性体を用い、スピン注入・輸送・検出現象を MOSFET 素子中で抵抗値(電流値)の変化として観測することで、記憶機能(不揮発メモリ動作)と演算機能(トランジスタ動作)を 1 つのデバイスで実現できる夢の低消費電力電子デバイスとして注目されてきた。しかし、その提案から 10 年以上経過した現在でも、実用化には未だ課題が山積している。

研究代表者らはこれまで、Si に変わる次世代の半導体材料として注目されるゲルマニウム(Ge)(または SiGe 混晶)に的を絞り、強磁性ホイスラー合金と呼ばれる高スピン偏極率材料を用いて、絶縁体トンネル障壁層を用いない低抵抗スピン注入技術を独自開発してきた(図 1 左)。本研究では、この技術を更に高度化し、スピン MOSFET 専用に開発される独自の半導体技術と融合することで、トランジスタの本来の機能である低電圧動作するスイッチ(電流の ON/OFF)としての役割を十分に担保したスピン MOSFET(図 1 右)を実証する。

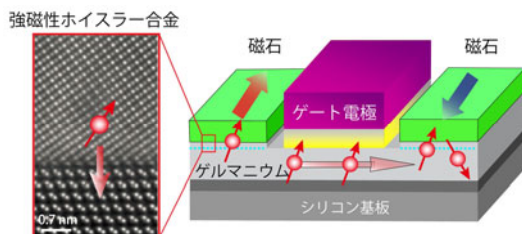


図 1. スピン MOSFET の模式図(右)と作製に成功している磁石/半導体接合の電子顕微鏡写真(左)。

【研究の方法】

研究目的を達成するために、以下の 4 つの課題解決に注力する。(1) 強磁性ホイスラー合金/Ge ヘテロ界面の高品質化、(2) Ge 中のスピン緩和抑制技術の検討とチャネル構造の最適化、(3) Ge スピン MOSFET 専用ゲートスタック構造の開発、(4) Ge スピン MOSFET 微細加工技術の開発と動作実証。

(1) に関しては、強磁性ホイスラー合金の組成ズレの影響からくる特性劣化が原因であるため、界面形成技術を高度化し、高効率スピン注入技術へと発展させる。(2) では、近年明らかになった「バレー間スピン散乱」の影響を極限まで抑制するために、チャネルに歪みを印加した新チャネル構造を検討し、最適化する。(3) では、ゲートラストプロセスを考慮し、強磁性ホイスラー合金/Ge 界面を劣化させない低温(300°C 以下) ECR プラズマ酸化法や元素添加手法などを融合した作製プロセスを開発する。(4) は、(1) ~ (3) の技術を同一素子で融合する手法の開発となる。

【期待される成果と意義】

Ge 素子における室温磁気抵抗効果が飛躍的に向上しながらトランジスタの本来の機能である「低電圧動作するスイッチ(電流の ON/OFF)」としての役割を十分に担保した素子動作が実証される。まさに、記憶機能と高速演算機能を両方兼ね備えた夢のデバイスであり、IoT 技術・AI 技術開発が益々進展する中、電子機器の低消費電力化への貢献が期待される。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- M. Yamada, M. Tsukahara, Y. Fujita, T. Naito, S. Yamada, K. Sawano, and K. Hamaya, "Room-temperature spin transport in *n*-Ge probed by four-terminal nonlocal measurements", Appl. Phys. Express **10**, 093001 (2017).
- K. Hamaya, Y. Fujita, M. Yamada, M. Kawano, S. Yamada, and K. Sawano, "Spin transport and relaxation in germanium (Topical Review)", J. Phys. D: Appl. Phys. **51**, 393001 (2018).

【研究期間と研究経費】

令和元年度～令和 5 年度
155,500 千円

【ホームページ等】

<http://www.semi.ee.es.osaka-u.ac.jp/hamayalab/>
hamaya@ee.es.osaka-u.ac.jp