

## 研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： ハーフメタル強磁性体を用いたスピン機能 MOSFET の開発

2. 研究代表者名及び主たる研究参加者名(研究機関名・職名は研究参加期間終了時点):

研究代表者

菅原 聡 東京工業大学情報工学研究所 准教授

主たる共同研究者

猪俣 浩一郎 (独)物質・材料研究機構 磁性材料センター 名誉フェロー(平成 19～23 年度)

三谷 誠司 (独)物質・材料研究機構 磁性材料センター グループリーダー(平成 24 年度)

田中 雅明 東京大学大学院 工学系研究科電子工学専攻 教授

3. 研究実施概要

電子のスピン機能をシリコン集積回路に導入するには2つのアプローチがある。第1は、スピンドバイスと MOSFET を回路レベルで融合する(擬似スピン MOSFET)。第2は、スピン機能を MOSFET にデバイスレベルで融合する(スピン MOSFET)。スピン機能材料としてハーフメタル強磁性体、特にホイスラー合金を利用し、スピン機能をデバイス構造として実証する。擬似スピン MOSFET およびスピン MOSFET を用いて、低消費電力化に極めて有効となる不揮発性 SRAM や不揮発性フリップ・フロップ、およびこれらを用いた新しい低消費電力化アーキテクチャである不揮発性パワーゲーティングについて取り組む。

4. 事後評価結果

4-1. 研究の達成状況及び得られた研究成果(論文・口頭発表等の外部発表、特許の取得状況等を含む)

スピン MOSFET のソース、ドレイン用ハーフメタル材料の開発、ならびに擬似スピン MOSFET の作製と回路設計など、当初掲げたスピン MOSFET につながる技術的課題に取り組み、結晶規則度の高いホイスラー膜の作製、回路上への MTJ の作製、スピン注入信号の観測まで行った点は注目できる。また、NV-SRAM、NV-DFD でのパワーゲーティングなど、このスピントロニクス材料を用いたデバイスの実用的な観点からの提案や、それに関する積極的な論文発表および知的財産化への取り組みも評価できる。ただし、スピン MOSFET はオリジナルな提案で注目度も高い。現状では FET 動作確認のレベルに至っていないが、電極にホイスラー系材料を用いてスピン注入に成功したことは大きな前進である。

4-2. 研究成果の科学技術や社会へのインパクト、戦略目標への貢献

スピンを応用した不揮発性回路を適切に構成できるならば、Si 集積回路の消費電力を大幅に減ずる方法としてインパクトは大きい。ハーフメタルを用いたスピン MOSFET の実現に関しては、要素技術の開発にほぼ成功しており、スピン MOSFET の原理実証に近づけた。スピン MOSFET の原理実証に向けて、ホイスラー-MTJ の開発、擬似スピン MOSFET に関する回路形式の提案と MTJ/CMOS 集積化プロセス開発など、領域の主旨に整合した成果が得られている。

4-3. 総合的評価

スピン MOSFET の動作実証は本提案の最大のオリジナルポイントであっただけに、残る期間でのトランジスタ特性の評価が強く望まれる。一方、MTJ を用いた擬似スピン MOSFET ではトランジスタの作製工程自体を変更する必要がないため、企業との共同開発に持ち込みやすい利点がある。共同開発を通じて、事業性(作製コスト、安定性、設計マージン、オーバーヘッド等)の評価を待ちたい。