

審査の結果の要旨

氏名 金木 俊樹 (かなき としき)

本論文は、Fabrication and spin-dependent transport of spin field-effect transistors: Vertical spin field-effect transistors (V-Spin-FETs) and current-in-plane spin-valve field-effect transistors (CIP-SV-FETs) (スピン電界効果トランジスタの作製とスピン依存電動特性：縦型スピン電界効果トランジスタと面内伝導型スピバルブ電界効果トランジスタ)と題し、全7章より成り、英文で書かれている。

本論文では、縦型スピン電界効果トランジスタの実証、微細加工技術、イオン液体を用いることによる縦型スピン電界効果トランジスタの性能向上と磁気異方性の変調、微細加工技術を用いることによる大きな電流変調量を有する縦型スピン MOSFET の実証、縦型スピン電界効果トランジスタの室温での動作実証、従来のスピン電界効果トランジスタと同様の機能を果たしうる新しいスピン電界効果トランジスタ (面内伝導型スピバルブ電界効果トランジスタ) の提案と動作実証についての研究成果を述べている。

第1章は「Introduction (序論)」であり、スピントロニクスに関する研究背景、本論文の目的を述べている。その中で、スピン金属酸化物半導体電界効果トランジスタ (スピン MOSFET) に関する先行研究について述べ、本論文の研究対象としての位置づけと研究目的を示している。

第2章は「Demonstration of a vertical spin metal-oxide-semiconductor field-effect transistor using a ferromagnetic-semiconductor GaMnAs-based heterostructure」であり、縦型スピン MOSFET の動作実証を行っている。III-V 族強磁性半導体 GaMnAs を強磁性ソース・ドレイン、GaAs をチャネルとした縦型スピン MOSFET を作製し、作製した素子において、磁化の配置により 60%、ゲート電圧により約 0.5%、ドレイン電流が変調されることを観測している。本研究で得られた磁化の配置による電流の変調量はこれまで報告されていた値の 100 倍以上大きな値である。

第3章は「Improved performance of GaMnAs-based vertical spin field-effect transistors using an ionic liquid」であり、GaMnAs を強磁性ソース・ドレイン、GaAs をチャネルとした縦型スピン電気二重層電界効果トランジスタを作製し、縦型スピン MOSFET の性能向上に関する研究について述べている。作製した素子において、磁化の配置により 37%、ゲート電圧により約 20-30%、ドレイン電流が変調されることを観測している。さらに、側面からゲート電圧を印加することによって、素子の磁気異方性を変調されていることが明らかにし、Stoner-Wohlfarth モデルを用いた定量的考察を行っている。

第4章は「Large current modulation and its origin in a GaMnAs-based vertical spin metal-oxide-semiconductor field-effect transistor」であり、GaMnAs を強磁性ソース・ドレイン、GaAs をチャネルとした縦型スピン MOSFET を作製し、スピン依存伝導特性を調べている。作製した素子の側面からゲート電圧を印加することによって 130% に及ぶこれまで報告された中で最大の電流変調量を観測している。また、ドレイン電流の変調について、実験結果を計算結果と比較することによって、その起源について述べている。

第5章は、「Room-temperature operation of a vertical spin field-effect transistor with an Fe / GaO_x / MgO / Fe system」であり、Fe を強磁性ソース・ドレイン、GaO_x / MgO をチャンネルとして用いて、縦型スピンの電界効果トランジスタの動作を室温で実証している。作製した素子において、磁化の配置によって約 43%、ゲート電圧によって約 9%、ドレイン電流が変調されることを観測している。

第6章は、「An alternative spin metal-oxide-semiconductor field-effect transistor: a current-in-plane spin-valve field-effect transistor」であり、従来のスピン MOSFET と同様の機能を果たしうる新しいスピン MOSFET (面内伝導型スピンバルブ電界効果トランジスタ) を提案している。強磁性半導体 GaMnAs、及び III-V 族半導体からなるヘテロ接合を用いて素子を作製し、ゲート電圧と磁化の配置による電流の変調という、スピン MOSFET として基本的な動作を実証している。

第7章は、「Concluding remarks and future outlook (結論と将来展望)」であり、本論文で得られた結果のまとめと今後の展望を述べている。

以上これを要するに、本論文では、縦型構造を有したスピン MOSFET の低温での動作実証、その性能向上と磁気異方性の変調、電流変調の起源の考察、室温での動作実証、また、新しいスピン MOSFET の提案、動作実証に関する研究が述べられており、特に縦型スピン電界効果トランジスタに関する一連の研究はスピン MOSFET の性能向上に関して新たな設計指針と実証例を提供したもので、スピントロニクスおよび電子工学の発展に寄与するところが少なくない。よって本論文は、博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。