

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 杉浦 邦晃

本論文は、「Si-based spin MOSFETs with epitaxial ferromagnetic MnAs source and drain: Growth, Schottky junction, transistor, and spin-dependent transport properties. (エピタキシャル強磁性 MnAs ソース・ドレインを有するスピン MOSFET: 成長、ショットキー接合特性、トランジスタ特性およびスピン依存伝導現象)」と題し、英文で書かれている。本論文は、新しい MOS 型スピンドバイスであるエピタキシャル強磁性 MnAs ソース・ドレインを有するスピン MOSFET について、強磁性薄膜 MnAs のエピタキシャル成長、MnAs/Si ショットキー接合の特性、スピン MOSFET 構造の作製プロセス、トランジスタ特性およびスピン依存伝導現象の研究成果を記述しており、全 6 章から成る。

第 1 章は「Introduction」であり、スピン自由度を利用したエレクトロニクスに向けたスピンドバイス研究の状況と背景を述べ、本論文の構成と目的を示している。

第 2 章は「Epitaxial growth and fundamental properties of ferromagnetic MnAs thin films on Si Substrates」であり、Si(001)基板上への強磁性単結晶 MnAs 薄膜の分子線エピタキシー(MBE)法によるエピタキシャル成長とその構造とエピタキシャル関係、磁気特性とその成長条件依存性、およびアニール効果と熱的安定性を実験的に明らかにした結果を記している。

第 3 章は「Schottky barrier height of ferromagnet/Si junctions」であり、エピタキシャル MnAs/Si(001)ショットキー接合を形成し、そのショットキー障壁高さを評価した結果、電子に対して 0.16 eV と非常に低い値になることを明らかにしている。この値は、比較のために形成した CoFe/Si(001)および CoFeB/Si(001)ショットキー接合の障壁高さ (0.62 - 0.65 eV) と比べて格段に低い値であり、エピタキシャル MnAs 薄膜は MOSFET およびスピン MOSFET のソース・ドレイン電極として有望であることを示している。

第 4 章は「Fabrication and electrical transport measurements of MnAs source and drain (S/D) spin MOSFETs」であり、エピタキシャル MnAs 薄膜をソース・ドレイン電極とするスピン MOSFET 構造を SOI(silicon-on-insulator)基板上に作製し、基板側にバックゲート電極を形成することにより、トランジスタ動作を示すとともに電気的特性を評価した。比較のために形成した CoFeB 電極を有する MOSFET と比べておよそ 100 倍のドレイン電流をとれること、ゲート電圧によるオン/オフ比が  $10^8$  程度で通常の pn 接合を用いた MOSFET と同程度であること、500°C 程度のアニールによって特性が向上すること、などを明らかにした。

第 5 章は「Spin dependent transport properties of spin MOSFETs with MnAs source/drain」と題し、まずスピン依存伝導現象について概略を述べた後で、第 4 章で作製したエピタキシャル MnAs 薄膜をソース・ドレイン電極とするスピン MOSFET の磁気輸送特性を測定した結果について述べている。ゲート電圧( $V_G$ )が高いときに、ソース・ドレイン間の抵抗( $R_{DS}$ )の磁場依存性にヒステリシスと正の磁気抵抗が現れることを示し、その温度依存性、磁場方向依存性、また強磁性電極を持たないデバイスとの比較などから、観測された磁気抵抗は MnAs 強磁性電極のスピンバルブ効果と Si チャネル中のスピン依存伝導によるものであると結論づけている。

第 6 章は「Concluding remarks and outlook」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。

以上のように、本論文では、エピタキシャル強磁性 MnAs ソース・ドレインを有する MOS 型スピンドバイスの研究を行い、まずエピタキシャル MnAs/Si(001)接合のショットキー障壁高さを評価してスピン MOSFET のソース・ドレイン電極として適していることを示し、さらに、MnAs をソース・ドレインとする MOSFET の作製プロセスを開発し特定の温度とゲートバイアス条件においてソース・ドレイン間に磁気抵抗効果が生ずることを示すことにより、強磁性電極を有するスピン MOSFET の動作が原理的に可能であることを実証したものであり、電子工学上、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。