



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Electrical spin injection from ferromagnet into an InAs quantum well [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	石倉, 丈継
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11753号
Issue Date	2015-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/58797
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Tomotsugu_Ishikura_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 石倉 文継

審査担当者 主 査 准教授 植村 哲也
 副 査 教 授 葛西 誠也
 副 査 特任教授 山本 眞史
 副 査 准教授 佐藤 威友

学位論文題名

Electrical spin injection from ferromagnet into an InAs quantum well
(強磁性体から InAs 量子井戸への電気的スピン注入に関する研究)

近年、電子の電荷に加えてスピンの自由度を活用し、従来にない機能と性能を有するデバイスの創出を目指すスピントロニクスの研究が注目されている。これまで、巨大磁気抵抗効果を利用したデバイスが Hard Disk Drive の磁気ヘッドに応用され、記憶容量の急激な増大に貢献し、近年では Magnetic Random Access Memory が高速・大容量・高書き換え耐性を備えた不揮発性メモリとして実用化されつつある。しかしながら、トランジスタなどの能動素子への応用に関してはいくつか提案はされているものの、どれも研究段階にあるのが現状である。その中で、Datta と Das によって提案されたスピントランジスタは、従来のシリコン MOSFET におけるスイッチング特性の物理限界を超える可能性があり、実現が期待されている。このスピントランジスタは、ソースとドレインに強磁性体、チャネル材料は高い電気伝導特性をもつ狭ギャップ半導体を用いられる。ソースから注入されたスピンは半導体中のスピン軌道相互作用により位相が変調され、ドレイン電極によりそのスピンの位相を磁気抵抗として検出する。この時、スピンの位相をゲート電界により変調することができるため、トランジスタのようなスイッチング動作が可能となる。このスピントランジスタ実現のためには、半導体中のスピン軌道相互作用のゲート電界制御と強磁性体電極によるスピンの注入、検出技術の確立が重要である。現在まで、狭ギャップ半導体中のスピン軌道相互作用の制御は数多く報告され、その技術が確立されつつある。一方、半導体へのスピン注入、検出に関しては、バルクの Si, Ge, GaAs に対するものにほとんど限られている。それらの材料系では電気伝導特性が低いことだけではなく、スピン軌道相互作用が非常に微弱であるため、スピントランジスタへの応用は困難である。それに対して HEMT (High Electron Mobility Transistor) 構造などの高い電気伝導特性を持つ系や、InGaAs, InAs, InSb などのスピン軌道相互作用が強い系におけるスピン注入、検出の報告はほとんどなく、高効率なスピン注入法は現在まで確立されていない。以上の背景より、本研究の目的は、高い電気伝導特性と強いスピン軌道相互作用を有する InAs 量子井戸への高効率スピン注入・検出法の確立を通じ、スピントランジスタ実現に向けての基盤技術を創出することである。

本論文は第 1 章から第 6 章までで構成されている。第 1 章では本研究の背景、目的について述べられている。第 2 章ではスピントロニクスとその半導体応用への理論背景と、スピントランジスタ実現への課題について述べられている。特に、強磁性体から半導体へのスピン注入における課題である伝導度ミスマッチについて解説している。第 3 章では素子の設計、プロセス方法および評価方法について述べられている。第 4 章ではスピントランジスタ作製上必要な、熱耐性に優れたゲート電極

材料の開発について述べられている。狭ギャップ半導体チャネル FET のゲート絶縁膜として広く用いられている InAlAs バリアに対し、Pd 電極を用いることで、従来用いられていた Ti/Au, Ti/Pt/Au 電極などに比べ、界面反応が抑えられ、良好な熱耐性を示すことを見出した。第 5 章では強磁性体から半導体へのスピン注入の実験結果について述べられている。まず初めにスピン注入素子の作製方法ならびに評価手法を確立するために、NiFe/MgO/n-Si と Fe/n-Si ヘテロ構造を有するスピン注入素子を作製し、Si に対するスピン注入を試みた。その結果、前者の試料ではスピン注入を示す明瞭な非局所スピンバルブ信号が得られたのに対し、Fe/n-Si の試料では、強磁性体と半導体間のスピン抵抗のミスマッチにより、スピン信号は観測されなかった。このことより、スピン注入における MgO トンネル障壁層の有用性を明らかにした。以上の知見をもとに、InAs 量子井戸構造へのスピン注入を試み、NiFe/MgO/InAs 量子井戸構造に対し、明瞭な非局所スピンバルブ信号を観測するとともに、注入された電子スピンの、量子井戸におけるスピン拡散長や緩和時間を明らかにした。得られたスピン信号の強度から見積もられた InAs 量子井戸中のスピン偏極率は 8% に達し、これは、先行研究の NiFe/InAs 量子井戸構造に比べ 4 倍程度高く、高効率スピン注入実現への重要な指針を得た。第 6 章では本論文を総括し、主要な結論が述べられている。

これを要するに、著者は、スピン軌道相互作用の大きな半導体チャネルへの明瞭なスピン注入の実証と熱的耐性に優れたゲート金属材料の確立を通じ、スピンを活用したトランジスタ創出に向けた重要な成果を創出した。これは電子デバイス工学の進展に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。