



Title	Co系ホイスラー合金/Geヘテロ構造を用いた縦型スピ ンデバイスに関する研究
Author(s)	山田, 敦也
Citation	大阪大学, 2025, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/101705
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認した ため、全文に代えてその内容の要約を公開していま す。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文につい てをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (山 田 敦 也)	
論文題名	Co系ホイスラー合金/Geヘテロ構造を用いた縦型スピndeバイsに関する研究
論文内容の要旨	
<p>IoTやAIなどが広く一般に実用化されていく超スマート社会（Society5.0）において、半導体デバイスによる膨大な消費電力が問題になっている。現行のSi-LSI半導体デバイスの微細化による性能向上には既に限界が近づいており、新規省電力デバイスの研究開発が重要となる。本研究では、低消費電力半導体デバイスとして強磁性層/Ge/強磁性層からなる縦型GeスピンTFET（Tunnel Field Effect Transistor）の開発に向けた基礎技術を検討した。このデバイスは急峻なON/OFFスイッチング動作と二つの強磁性体の磁化の平行・反平行状態に依存した不揮発性メモリ動作を同時に達成可能な素子である。この縦型GeスピンTFET実現に向けて、縦型構造中のp-Ge中間層の室温でのスピン拡散長の理解や、高スピン偏極材料であるCo系ホイスラー合金の利用による室温磁気抵抗（MR）比の増大、Ge中間層へのドーピング技術などを開発することで、縦型GeスピンTFET構造の設計指針を議論した。</p> <p>第2章では、MBE法によりp-Ge中間層の膜厚を変化(10 nm, 17.5 nm, 20 nm)させた縦型CoFe/p-Ge/Fe₃Si構造のスピン信号の測定・評価を行なった。p-Ge中間層の膜厚が小さくなると室温スピン信号は指数関数的に大きくなる結果が得られた。得られた結果を一次元拡散モデルで解析することにより、MBE法で作製したp-Ge中間層の室温スピン拡散長を約8.4 nmと実験的に明らかにした。</p> <p>第3章では、前述の縦型CoFe/p-Ge/Fe₃Si構造の下部電極にCo₂FeSiを採用するため、Ge/Co₂FeSi界面での原子の相互拡散を抑制するための新たな結晶成長プロセスを検討した。作製した縦型スピnpバルブ素子の室温MR比は最大で約1.4 %となり、半導体チャネルを用いたスピン伝導素子において世界最高性能の室温MR比を達成した。さらに、Co₂FeSiより結晶規則度の高い薄膜を低温形成可能であるCo₂MnSiを用いることにより、全単結晶Co₂MnSi/Ge/Co₂MnSi縦型構造の作製にも成功した。</p> <p>第4章では、Co系ホイスラー合金を用いた縦型Ge素子構造において、Ge中間層におけるpn接合の作製と評価を行った。ダブルトラップトラップKセルを用いたCo系ホイスラー合金上でのP-doped n-Ge作製技術を確認することで、Co系ホイスラー合金間でのGeのpn接合の作製に成功し、バンド間トンネルを介したスピン信号検出に向けた指針を得ることができた。</p> <p>第5章では、これまでの縦型Geスピndeバイs研究を総括し、縦型GeスピンTFET構造に向けたGe-pn接合バンド間トンネルを介したスピン伝導や更なる室温MR比の増大に対する指針、サイドゲート構造の作製に向けた議論を行った。</p> <p>以上の成果は、縦型Geスピndeバイs研究分野における先駆的研究であり、半導体スピントロニクス分野のデバイス開発における新しい研究指針を示すものである。</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (山 田 敦 也)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教 授	浜屋 宏平
	副 査	教 授	酒井 朗
	副 査	教 授	中村 芳明

論文審査の結果の要旨

本論文は、次世代の低消費電力半導体スピントロニクス素子として期待されるゲルマニウム(Ge)スピndeバイsの中でも縦型GeスピントネルFET(TFET)の実現に向けて、縦型構造中の p -Ge中間層の室温でのスピン拡散長の評価や高スピン偏極材料であるCo系ホイスラー合金の利用手法およびGe中間層へのドーピング技術などを開発し、その設計指針を議論することを目的とした研究である。

本論文は5章から構成されている。第1章では序論として、半導体デバイスの電力消費問題や省電力化に向けた様々な取り組みについて述べられており、スピンの性質を利用した半導体スピントロニクスデバイスへの期待やその研究事例を解説している。中でも「縦型GeスピントネルFET」の実現に向けた研究指針・現状の課題などについて説明している。第2章では、TFET 構造に必要な不可欠な p -Ge層のスピン拡散長を実験的に決定する手法を検討し、その実証と現時点での課題を議論している。第3章では、縦型Geスピndeバイs構造にCo 系ホイスラー合金を用いるための新規結晶成長技術の開発と、縦型Geスピndeバイs構造の実現、室温磁気抵抗(MR)効果の実証などの詳細な検討結果を述べている。特に、ここで得られた室温MR比は1.4%という世界的にも非常に大きな値であることが説明されている。第4章では、TFET 構造に必要な不可欠な n -Ge層を縦型スピndeバイs構造に組み込むためのドーピング技術について検討し、Co 系ホイスラー合金上への n -Ge層の実証とそれを用いたスピン伝導の観測について述べ、最終的にはCo 系ホイスラー合金上へのGe- pn 接合の実現に至った結果を述べている。第5章では、本研究を総括し、本研究を総括し、今後の展望について詳細に述べている。

令和7年2月10日に、審査担当者3名と山田氏で審査委員会を開催し、山田氏に上記の博士論文の内容に関する説明を行わせた後、質疑・討論及び口頭試問を行った。論文の内容は世界的にも独自性の高い優れた内容を有していること、実験技術やその性能向上への取り組みは先進性と新規性に富んでいること、研究業績は十分であることを確認した。また、山田氏は質疑においても本分野における広範な知識と深い理解を有していることが確認できた。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として十分な価値があるものと認める。