

鉄シリサイド材料によるスピントロニクス素子の創製と評価

堺, 研一郎

<https://hdl.handle.net/2324/1500761>

出版情報：九州大学, 2014, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：やむを得ない事由により本文ファイル非公開（3）

氏 名：塚 研一郎

論文題名：鉄シリサイド材料によるスピントロニクス素子の創製と評価

区 分：甲

論 文 内 容 の 要 旨

これまで電子工学(エレクトロニクス)の筆頭としてその発展を牽引してきた半導体工学の分野では、電子の持つ電荷(電流を流す性質)のみが取り扱われてきた。一方、磁性体工学(マグネティクス)の分野では、磁化が主に取り扱われてきた。近年、電子工学の分野において、ムーアの法則やスケーリング則に代表されるように、これまでの半導体工学の発展方法では限界が囁かれる中、革新的な次世代デバイスの研究開発が急務となっている。その有力な候補の一つとして、電子が持つ電荷のみならず、スピンと呼ばれる電子の磁石としての性質まで利用したスピントロニクスと呼ばれる新しい学術分野が大きな注目を集めている。このスピントロニクスの分野では、非磁性層で区切られた強磁性金属層間の磁気層間結合の磁化反転が最も重要な物理現象の一つである。磁化反転を利用した代表的な物理現象に、巨大磁気抵抗(GMR)効果とトンネル磁気抵抗(TMR)効果がある。どちらも外部からの磁場印加によって数十 %を超える巨大な電気抵抗変化が得られる。GMR 効果の発見には、2007 年のノーベル物理学賞が与えられている。GMR 素子では非磁性層に非磁性金属、TMR 素子では絶縁体を用いられることに対して、本研究では非磁性層に半導体 FeSi_2 を用いていることが大きな特徴である。つまり、半導体スピントロニクスの分野に属する。具体的には、鉄シリサイド材料である強磁性金属 Fe_3Si と半導体 FeSi_2 で構成される人工格子によって、スピントロニクスにおける新奇的な物性探索を目的として研究を進めている。本研究では、非磁性層に半導体を用いている特徴を活かした温度変調による独創的な磁化反転の観測や、膜の面直方向に電流を注入する CPP(Current-perpendicular-to-plane)法による MR 比の向上、また CPP 法を利用した電流注入磁化反転の研究に取り組んだ。さらに、強磁性金属 Fe_3Si から半導体 FeSi_2 への電氣的スピン注入を局所および非局所配置のスピンバルブ効果にて調べた。本論文は、以下の 8 章から構成される。

第 1 章では、スピントロニクスに関する基本的原理や代表的物理現象を述べた後、それらに対して本研究で取り組んでいる「鉄シリサイド材料によるスピントロニクス素子の創製と評価」の当該分野における特色や目的について記述した。

第 2 章では、実験方法について記述した。主に、対向ターゲット式 DC スパッタリング(FTDCS)法による強磁性金属 Fe_3Si /半導体 FeSi_2 人工格子の作製、XRD による結晶構造評価、VSM・SQUID による磁化曲線測定、磁気層間結合の温度特性測定、MR 比測定、電流注入磁化反転測定、電氣的スピン注入と検出の実験方法について記述している。

第3章では、温度変調による磁化反転制御について記述している。本研究で創製している強磁性金属 Fe_3Si /半導体 FeSi_2 人工格子では、非磁性層に半導体である FeSi_2 を用いていることが大きな特徴の一つであり、半導体が光や温度によって電子状態を敏感に変化させることを活かして、GMR 素子や TMR 素子では実現が困難と考えられる光や温度による磁化反転制御の独創的な手法の提案が期待できる。本章では、そのうち温度変調によって半導体 FeSi_2 層のキャリア濃度をコントロールすることにより、強磁性金属 Fe_3Si 層間における磁気層間結合の磁化反転を示唆する興味深い結果が得られたため、それらに関連するデータを含めて議論している。

第4章では、MR 比の向上に関して記述している。本研究では、以前まで人工格子の膜面内方向に電流を注入する CIP(Current-in-to-plane)法によって MR 比の観測に努めてきたが、その値が約 1%未満であり、GMR 素子や TMR 素子に比べてはるかに低い結果となっていた。本章では、この MR 比を向上させるため、まずマスク法によって CPP 素子を実現し、MR 比の向上に取り組んだ。この方法で僅かではあるが MR 比は向上した。大幅な改善が見られなかった原因として、設計したマスクの構造上、CIP と CPP が混在していることが挙げられる。そこで、集束イオンビーム(FIB)法によってフル CPP 素子の創製に取り組んだ。その結果、微細加工を伴うために再現性にばらつきがあるが、概ね一桁以上の大幅な改善が見られた。

第5章では、強磁性金属 Fe_3Si /半導体 FeSi_2 人工格子で初めて電流注入磁化反転に成功した研究成果について記述している。第3章では温度変調による磁化反転制御、第4章では磁場印加による磁化反転制御に取り組んだことに対して、本章では磁気抵抗メモリ(MRAM)の磁化反転素子として重要な要素技術となる電流注入による磁化反転制御に挑戦した。まず、第4章と同様にマスク法による CPP 素子によって電流注入磁化反転を実現した。その後、集束イオンビーム(FIB)法によってフルエピタキシャル CPP 素子を創製し、磁化反転に要する臨界電流密度(J_c)の算出に取り組んだ。算出された J_c は、 3.3×10^1 [A/cm^2] で、MRAM 実用化に向けた磁化反転素子に求められる臨界条件を大きく上回ることができた。しかし、本研究で創製した磁化反転素子は、現時点では実用レベルの微細化サイズには到底達しておらず、今後は実用レベルの微細化素子の創製と、このオーダーでの電流密度算出に取り組む必要がある。

第6章では、現在スピントロニクスの研究分野で、最も注目されているテーマの一つである強磁性金属から半導体への電氣的スピン注入の研究に着手した内容について記述している。具体的には、強磁性金属 Fe_3Si /半導体 FeSi_2 人工格子で、局所配置型スピンバルブ効果を利用したスピン偏極電流によるスピン注入、および非局所配置型スピンバルブ効果を利用した純スピン流の生成について述べている。

第7章では、第3章から第6章までの結果と議論を総括するとともに、今後の展望を述べた。

第8章では、本研究を遂行するにあたってお世話になった方々への謝辞を述べた。