HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Temperature dependence of spin-dependent tunneling conductance of magnetic tunnel junctions with half-metallic Co2MnSi electrodes [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	胡, 兵
Citation	北海道大学. 博士(工学) 甲第12484号
Issue Date	2016-12-26
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/64454
Rights(URL)	http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	theses (doctoral - abstract and summary of review)
Additional Information	There are other files related to this item in HUSCAP. Check the above URL.
File Information	Hu_Bing_review.pdf (審査の要旨)

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

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　　胡 兵

審査担当者	主　査　教　授	植村 哲也
	副　査　教　授	富田 章久
	副　査　教　授	髙橋 庸夫
	副　査	山本 眞史　（北海道大学名誉教授）

学位論文題名

Temperature dependence of spin-dependent tunneling conductance of magnetic tunnel junctions with half-metallic Co_2MnSi electrodes
（ハーフメタル Co_2MnSi 電極を用いた強磁性トンネル接合のスピン依存コンダクタンスの温度依存性）

本論文は, ハーフメタル Co_2MnSi 電極を用いた強磁性トンネル接合のスピン依存トンネルコンダクタンスの温度依存性に関する研究成果をまとめたものである.

近年, 電子の持つ電荷に加えて, 電子の持つスピンの自由度を活用することにより, スピントロニクスデバイスと呼ばれる, 不揮発性, 超低消費電力性および再構成可能な論理機能の特徴を併せ持つ新しい概念の電子デバイスを創出しようとする研究が注目を集めている. ハーフメタル強磁性体は, 一方のスピンバンドに対してフェルミレベル (E_F) においてエネルギーギャップを有し, このため, E_F でのスピン偏極率が 100% となる. スピントロニクスデバイスはスピン偏極した電子を用いる事を基本としており, ハーフメタル強磁性体はスピントロニクスデバイスのスピン源の材料として最も有望な材料の一つである. Co 基ホイスラー合金は, その多くについてハーフメタル性が理論的に指摘されており, かつ, 室温よりも十分に高い強磁性転移温度を有するため, 強磁性トンネル接合 (MTJ), 巨大磁気抵抗 (GMR) デバイス, 半導体へのスピン注入源として, 広く研究がなされている. この中でも, Co_2MnSi (CMS) は 0.81 eV の大きなハーフメタルギャップを伴ったハーフメタル性が理論的に指摘されており, また, 985 K の高いキュリー温度を有するため, 活発に研究が展開されている. 最近, 本研究グループは, Mn リッチの CMS 電極を用いた CMS/MgO/CMS MTJ (CMS MTJ) に対して, 4.2 K で 1995%, 290 K で 354% の非常に大きなトンネル磁気抵抗比 (TMR 比) を実証した. さらに, この高い TMR 比が, Mn リッチの組成によりハーフメタル性にとって有害な Co アンチサイトの発生が抑制され, より高いハーフメタル性が実現された事によって得られていることを明らかにした.

一方, Co 基ホイスラー合金のハーフメタル性を, 室温でのスピン源の強磁性材料として最大限に活用するためには, MTJ のスピン依存トンネルコンダクタンス (G) の温度依存性の起源を明らかにすることが重要である. 本研究の目的は, 高い TMR 比を有する高品質の CMS MTJ の磁化平行配置および反平行配置でのトンネルコンダクタンス, それぞれ G_P と G_{AP} の温度依存性を実験的に調べる事により, MTJ のスピン依存トンネルコンダクタンスの温度依存性の起源を明らかにすることである. このために, 本研究では $Co_2Mn_\alpha Si$ 電極の Mn 組成 α を変えることにより, 4.2 K でのスピン偏極率 P(4.2 K) を系統的に変化させた CMS MTJ の G_P および G_{AP} の温度依存性を実験的に調

べた. この結果, G_P が従来にない, 温度に対して非単調な依存性を示す事を明らかにした. これらの G_P の非単調な温度依存性は, スピン依存トンネルコンダクタンスの温度依存性の起源を明らかにする上で, キーとなる実験結果である. このような特徴的な G_P の温度依存性を決めるトンネル機構を明らかにするため, 既存の Zhang モデルを拡張した新しいモデルを提案し, 実験結果を解析した.

本論文は全 5 章から構成されている. 各章の要旨は以下の通りである.

第 1 章では本研究の背景と目的, さらに, 本研究のアプローチを述べている.

第 2 章では MTJ の製作方法, スピン依存トンネルコンダクタンスの測定法を含む実験方法について述べている.

第 3 章では CMS MTJ の G_P および G_{AP} の温度依存性に関する実験結果を述べると共に, 新しく提案したモデルによる実験結果の解析と, それに基づいた議論を行っている. 本章では, 最初に, CMS 電極の Mn 組成 α を系統的に変えた, 高い TMR 比を有する CMS MTJ の $G_P(T)$ と $G_{AP}(T)$ の振舞いの全体的な特徴をまとめた上で, 次に, CMS MTJ の G_P が温度に対して非単調な依存性を示す事を明らかにした. すなわち, (i) ある特徴的温度 T_1 = 30 K から, α に依存して 162 K から 237 K まで変化する第二の特徴的温度 T_2 の間では, 温度の増加と共に, G_P は増加し, (ii) T_2 より高い温度範囲では温度の増加と共に, G_P は減少することがわかった. さらに, P(4.2 K) が大きいほど, 4.2 K での値で規格化された $G_P(T)/G_P(4.2\ \mathrm{K})$ の $T = T_2$ での減少の大きさが増加する事が分かった. G_P の温度に対する非単調な依存性の起源を明らかにするため, 従来の Zhang モデルを拡張した以下のようなモデルを提案した. すなわち, (i) 温度の上昇と共に減少するスピン偏極率を組み込んだスピン保存弾性トンネリングと, (ii) マグノンを介したスピン反転非弾性トンネリングの両方の機構を取り入れたモデル (拡張型 Zhang モデル) を提案した. この拡張されたモデルを元に $G_P(T)$ の実験結果を解析した結果, 上記の機構が共に重要な役割を果たしている事を明らかにした. さらに, G_{AP} の温度依存性も上記の拡張された Zhang モデルによって, 整合性よく説明できること, また, G_{AP} の温度依存性の強さの程度が P(4.2 K) の増大と共に大きくなる実験結果も, 上記のモデルにより説明できる事を明らかにした.

第 4 章では, CMS の Mn の一部を Fe によって置き換えた Co_2(Mn,Fe)Si (CMFS) 電極を用いた CMFS/MgO/CMFS MTJ (CMFS MTJ) の G_P および G_{AP} の温度依存性を実験的に調べ, その結果を解析する事によって得られた知見を述べている. 特に, Mn 組成と Fe 組成が同程度の CMFS では, マグノンの最低励起エネルギーが CMS に比較して 1.6 倍程度の大きな値をとる事を明らかにした.

第 5 章は本学位論文の要約と結論を述べている.

以上を要約すると, 本論文は, MTJ のスピン依存トンネルコンダクタンスの温度依存性を決めるトンネル機構として, スピン偏極率の温度依存性を組み込んだスピン保存弾性トンネリングと, マグノンを介したスピン反転非弾性トンネリングの両方の機構が共に重要な役割を果たしている事を明らかにしたものである. 以上, 本論文は Co 基ホイスラー合金のハーフメタル特性をスピントロニクスデバイスに応用する上での有益な知見を実験的に明らかにしたものであり, これは電子デバイス工学の進展に寄与するところ大である.

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のある者と認める.