

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月24日現在

機関番号：17701

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009 ~ 2011

課題番号：21740259

研究課題名（和文）：トンネル現象を用いた接合界面での奇周波数クーパー対に関する研究

研究課題名（英文）：Study on odd frequency Cooper pairs at junction interfaces in tunneling phenomena

研究代表者：重田 出 (SHIGETA IDURU)

鹿児島大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号：30370050

研究成果の概要（和文）：

本研究は強磁性体と超伝導体の接合界面において奇周波数クーパー対の生成を検証することを目標に開始し、以下の成果を得た。

1. 第一原理バンド計算からハーフメタルであると期待されるホイスラー合金 $\text{Co}_{2-x}\text{Fe}_x\text{MnSi}$ と $\text{Ru}_{2-x}\text{Fe}_x\text{CrSi}$ を合成し、それらがハーフメタルの候補であることを明らかにした。
2. ホイスラー合金 $\text{Co}_{2-x}\text{Fe}_x\text{MnSi}$ のスピンの極率が組成 $x$ に依存せず、約50%であることを明らかにした。
3. ホイスラー合金 $\text{Ru}_{2-x}\text{Fe}_x\text{CrSi}$ を合成のスピンの極率が $x=1.8$ のときに最大の63%であることを明らかにした。
4. 奇周波数を閉じ込める目的で、MgO基板上にフルエピタキシャルNbN/ $\text{Co}_2\text{MnSi}$ とNbN/ $\text{Co}_2\text{FeSi}$ 多層膜とそのナノ接合を作製することに成功した。
5. NbN/ $\text{Co}_2\text{MnSi}$ ナノ接合の微分コンダクタンス測定において大きなゼロバイアスピークを観測した。この現象は拡張Blonder-Tinkham-Klapwijk (BTK)理論では説明ができず、接合界面での奇周波数クーパー対の生成の可能性を示唆する。

研究成果の概要（英文）：

In this work, I have studied on odd frequency Cooper pairs at junction interfaces between a ferromagnet and a superconductor. I have clarified several topics as follows:

1. I synthesized Heusler alloys  $\text{Co}_{2-x}\text{Fe}_x\text{MnSi}$  and  $\text{Ru}_{2-x}\text{Fe}_x\text{CrSi}$ , which are expected as half-metal by the first-principles band calculations. Those materials are candidates of half-metal.
2. The spin polarization of  $\text{Co}_{2-x}\text{Fe}_x\text{MnSi}$  is independent of composition  $x$  and is equal to approximately 50%.
3. The spin polarization of  $\text{Ru}_{2-x}\text{Fe}_x\text{CrSi}$  is maximum value of 63% in the case of  $x=1.8$ .
4. I succeed in fabricating fully-epitaxial NbN/ $\text{Co}_2\text{MnSi}$  and NbN/ $\text{Co}_2\text{FeSi}$  bilayers and those nano-junctions in order to trap the odd frequency Cooper pairs.
5. I observed a large zero-bias peak in differential conductance of NbN/ $\text{Co}_2\text{MnSi}$  nano-junctions. The phenomenon are not explained by the modified Blonder-Tinkham-Klapwijk (BTK) model and indicates generations of odd frequency pairs at the junction interface.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性Ⅱ

キーワード：ハーフメタル，超伝導体，アンドレーエフ反射，スピン分極率，奇周波数クーパー対

1. 研究開始当初の背景

近年、「電荷」の性質だけではなく「スピン」の性質をも制御し、新しいデバイスの開発を目指す研究分野「スピントロニクス」が注目を集めている。この分野において、その発展や応用の拡大のために欠かせない物質が「ハーフメタル」である。このハーフメタルは強磁性体トンネル接合(MTJ)や面直通電型巨大磁気抵抗(CPP-GMR)素子の磁気抵抗(MR)比の増大、あるいは半導体中へのスピン注入源材料として期待されている。これまでハーフメタル材料として $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ や $\text{CrO}_2$ などが報告されているが、キュリー温度が低いため室温では高いスピン分極率は達成されていない。他方、スピン分極率の決定法の1つに、アンドレーエフ反射を利用したトンネル分光法がある。この強磁性体/超伝導体接合の界面における輸送現象に関する進展も国内外を問わず極めて著しい。奇周波数クーパー対の近接効果や共鳴束縛状態、Fulde-Ferrell-Larkin-Ovchinnikov (FFLO)状態、 $0$ 接合・ $\pi$ 接合など未解決の問題も多く存在する。特に、強磁性体がハーフメタルの場合にはスピン分極率100%の効果によって、奇周波数クーパー対の検出が容易になり、新しい物理現象の発見も期待された。

2. 研究の目的

(1) ハーフメタル型ホイスラー合金の合成と磁性

$L2_1$ 構造をもつホイスラー合金は、キュリー温度は高いものの、現状では室温において理論で予想されるほどの高いスピン分極率は実現されていない。それは本来 $L2_1$ 構造になるべきホイスラー合金が、原子サイトの不規則性により $A2$ 構造や $B2$ 構造になることが原因であると考えられる。したがって、第一原理バンド計算からハーフメタル材料である

と理論的に予想されるホイスラー合金の合成に取り組む。室温で高いスピン分極率を得るためには、①高いキュリー温度と、②原子サイトの不規則性に対する耐性を考慮した上で、加えて、③伝導を担うキャリアのフェルミ速度の大きさも重要な要素である。したがって、それらを総合的に考慮してハーフメタル特性の可能性がある物質合成を試みる。そして、合成したホイスラー合金の物性評価を行い、ハーフメタル材料の候補を絞り込む。また、ハーフメタル材料の探索を行うと同時に、 $\text{Ru}_{2-x}\text{Fe}_x\text{CrSi}$ の多様な磁性状態を明らかにする。従来、ホイスラー合金は比較的単純な局在モーメントによる強磁性体であると見なされてきた。ゆえに、ホイスラー合金が実際には多様な物理現象の舞台であることを明瞭にすることは重要である。

(2) アンドレーエフ反射法によるスピン分極率

スピン分極率の電氣的測定手法には、①アンドレーエフ反射、②準粒子のゼーマン分裂、③TMR効果を利用する方法がある。その中でもアンドレーエフ反射と準粒子のゼーマン分裂においてはスピン分極率の直接測定が可能である。しかし、準粒子のゼーマン分裂を利用する場合には、最適な絶縁層の選択が必要となる。そこで、我々はアンドレーエフ反射を利用した接合法と拡張Blonder-Tinkham-Klapwijk (BTK)モデルによる解析から、合成したホイスラー合金のスピン分極率の測定を行う。

(3) 奇周波数クーパー対の近接効果

クーパー対はバルク状態では偶周波数をもつのが通説で、2つの電子が瞬時に電子対を形成する。この電子対を形成する際に、時間差が生じると松原周波数に依存性が現れ

る。ほとんどのクーパー対は偶周波数であるが、奇周波数のような 1 重項奇パリティ、3 重項偶パリティの電子対が実現している可能性が指摘された。強磁性体/超伝導体接合のような非一様な系において、奇周波数をもった異常なペアリングが最近話題で、近接効果により強磁性体内へ侵入したクーパー対が奇周波数をもつ電子対であると最近の研究より示唆される。このことは従来の偶周波数超伝導体の接合界面においても奇周波数のクーパー対が存在するということである。そこで、申請者は強磁性体であるホイスラー合金へ侵入した奇周波数をもつクーパー対を閉じ込めるために、MgO 基板上にフルエピタキシャル成長させた NbN/Co<sub>2</sub>MnSi ナノ接合を利用する。さらに、測定したトンネルコンダクタンスの理論解析から、クーパー対のパリティと周波数の依存性が、ホイスラー合金/超伝導体接合にいかに関与するかを調べる。最終的に、奇周波数クーパー対の近接効果が存在するかどうかを検証する。

### 3. 研究の方法

#### (1) ハーフメタル型ホイスラー合金の合成と磁性

アーク溶解法により、ホイスラー合金 Co<sub>2-x</sub>Fe<sub>x</sub>MnSi と Ru<sub>2-x</sub>Fe<sub>x</sub>CrSi の多結晶を作製した。合成したホイスラー合金は、室温で粉末 X 線回折 (リガク, RINT2000) を測定し、さらに、リートベルト解析プログラムの RIETAN-FP を用いて結晶構造解析を行った。電気抵抗は、クローズドサイクル冷凍機 (太陽日酸, PS11) を用いて 3 K~300 K の温度範囲で測定した。さらに磁化は、SQUID 磁力計 (Quantum Design, MPMS) を用いて 2 K~300 K の温度範囲と 0 T~7 T の磁場範囲で測定した。

#### (2) アンドレーエフ反射法によるスピン分極率測定

積層型接合は、ホイスラー合金 Co<sub>2-x</sub>Fe<sub>x</sub>MnSi と Ru<sub>2-x</sub>Fe<sub>x</sub>CrSi の表面を研磨して、メタルマスクを通して超伝導体の対電極として Pb を蒸着した。その際、バルクの Pb の超伝導 coherence 長  $\xi_0=87$  nm よりも長くなるようにすべての Pb 薄膜の膜厚を 150 nm とした。このようにして作製した接合について、ロックインアンプを用いた交流変調法で微分コンダクタンスを測定した。得られた微分コンダクタンスの拡張 Blonder-Tinkham-Klapwijk (BTK)理論による解析からホイスラー合金のスピン分極率を見積もった。

#### (3) 奇周波数クーパー対の近接効果

TMR 効果や GMR 効果でハーフメタル特性が確認されている希少な物質であるハーフメタル型ホイスラー合金 Co<sub>2</sub>MnSi を用い、ナノ

接合の特性を測定した。加えて、第一原理バンド計算からハーフメタルであると期待されている Co<sub>2</sub>FeSi も同様に NbN とのナノ接合の作製を試みた。ハーフメタル型ホイスラー合金 Co<sub>2</sub>MnSi と Co<sub>2</sub>FeSi は、NbN と格子整合性が良く、MgO 基板上にエピタキシャル成長が可能である。また、NbN は金属超伝導体の中では高い超伝導転移温度  $T_c=16$  K と 30 T を超える上部臨界磁場を有する超伝導物質である。そこで超高真空マルチスパッタ装置を用いて、Co<sub>2</sub>MnSi と Co<sub>2</sub>FeSi, NbN の多層膜を作製した。ここで、NbN 薄膜は Ar と N<sub>2</sub> の混合雰囲気中での反応性スパッタリングにより成膜した。一般的に、NbN 薄膜は基板加熱により良質な膜作製が可能であるが、Co<sub>2</sub>MnSi との多層膜化への配慮から、室温の基板上へのスパッタリングによる最適化を試みた。

以上の方法により作製したハーフメタル型ホイスラー合金 Co<sub>2</sub>MnSi や Co<sub>2</sub>FeSi と高い超伝導転移温度をもつ NbN のナノ接合の界面では、近接効果を通じて奇周波数クーパー対が形成されると期待される。そこで、電子ビーム描画装置を用いて接合を作製し、(2) と同様の実験手法により、ナノ接合の微分コンダクタンスを測定し、その温度依存性や磁場依存性からハーフメタル型ホイスラー合金と金属超伝導体との接合界面における奇周波数クーパー対の生成の可能性を探った。

### 4. 研究成果

#### (1) ハーフメタル型ホイスラー合金の合成と磁性

##### ① Co 基ホイスラー合金

強磁性状態を仮定すれば、第一原理バンド計算から Co<sub>2</sub>MnSi と Fe<sub>2</sub>MnSi はハーフメタルであると予想されている。そこで、我々は Co<sub>2-x</sub>Fe<sub>x</sub>MnSi の磁化測定を行った。磁化曲線ではヒステリシスは観測されず、Co<sub>2-x</sub>Fe<sub>x</sub>MnSi が軟強磁性体であることがわかった。強磁性を示す試料については  $\mu_0 H=1.0$  T ですでに磁化がほぼ飽和していた。そこで、 $0 \leq x \leq 1.8$  の

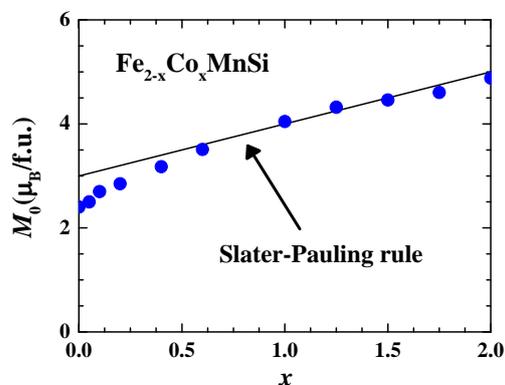


図 1 Co<sub>2-x</sub>Fe<sub>x</sub>MnSi の飽和磁化

試料について飽和磁化  $M_0$  を見積もったところ、 $\text{Co}_2\text{MnSi}$  の値は  $M_0=4.9 \mu_B/\text{f.u.}$  という値が得られた。飽和磁化の組成  $x$  依存性を調べたところ、 $0 \leq x \leq 1.5$  の  $\text{Co}_{2-x}\text{Fe}_x\text{MnSi}$  において Slater-Pauling 則に実際に従うことを明らかにした。この結果は  $0 \leq x \leq 1.5$  の  $\text{Co}_{2-x}\text{Fe}_x\text{MnSi}$  がハーフメタルであることを示唆する成果である。

## ② Ru 基ホイスラー合金

第一原理バンド計算から Ru 基ホイスラー合金  $\text{Ru}_{2-x}\text{Fe}_x\text{CrSi}$  は乱れに強く、chemical disorder に対して高いスピン分極率を維持する物質であると予想されており、新規ハーフメタル材料として有望である。そこで、 $\text{Ru}_{2-x}\text{Fe}_x\text{CrSi}$  の電気抵抗や磁化、比熱測定などを行った。Ru-rich の試料は電気抵抗は半導体的振る舞いを示し、かつ、磁化や比熱の測定から低温で反強磁性転移した後、さらに低温で逐次スピングラスへの転移をすることが明らかになった。一方、 $x \geq 1.0$  の Fe-rich の  $\text{Ru}_{2-x}\text{Fe}_x\text{CrSi}$  は電気抵抗が金属的な強磁性体であることがわかった。そして、約 500K という室温よりも十分に高いキュリー温度  $T_C$  をもち、 $x=1.7$  の  $\text{Ru}_{2-x}\text{Fe}_x\text{CrSi}$  は、極低温で

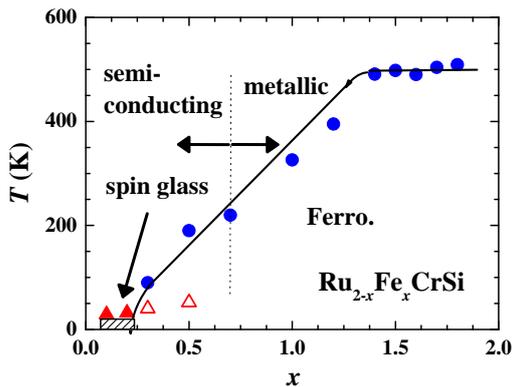


図 2  $\text{Ru}_{2-x}\text{Fe}_x\text{CrSi}$  の相図

$M_0=1.96 \mu_B/\text{f.u.}$  の飽和磁化であった。完全に  $L2_1$  構造にオーダーした状態では、 $M_0=2.0 \mu_B/\text{f.u.}$  が理論的に予想されているが、我々の試料においても、粉末 X 線回折からは完全な  $L2_1$  構造であることを確認している。したがって、Fe-rich の  $\text{Ru}_{2-x}\text{Fe}_x\text{CrSi}$  もハーフメタルの候補であることを明らかにした。以上の結果を図 2 の相図にまとめた。

## (2) アンドレーエフ反射法によるスピン分極率測定

### ① Co 基ホイスラー合金

液体ヘリウムをポンピングして到達できた最低温度の  $T=1.2 \text{ K}$  で  $x=0.5$  の  $\text{Pb}/\text{Co}_{1.5}\text{Fe}_{0.5}\text{MnSi}$  接合の測定から得られた規格化微分コンダクタンス  $G(V)/G_n$  と拡張 BTK 理論による解析結果を図 3 に示す。図 3 におい

て、白丸は実験データを、赤線は拡張 BTK 理論による解析結果を示している。ここで、 $G(V)$  は超伝導状態の微分コンダクタンスを、また  $G_n$  は常伝導状態の微分コンダクタンスを表す。図 3 からわかるように、実験結果と拡張 BTK 理論の計算結果は良い一致を示した。拡張 BTK 理論の解析から、 $x=0.5$  の場合に  $P=0.50$  という値を得た。そのときのフィッティングパラメータの値も図 3 に記載した。ここで、 $\Delta$  は超伝導薄膜 Pb のエネルギーギャップ、 $Z$  は接合界面のポテンシャルバリアー、そして、 $\chi^2$  は実験データと理論計算の差の規格化された 2 乗和を表す。他の組成  $x$  についてもほぼ同じ約 50% のスピン分極率が得られた。

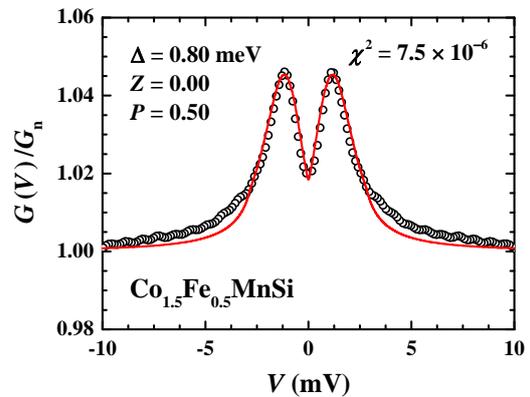


図 3  $\text{Pb}/\text{Co}_{1.5}\text{Fe}_{0.5}\text{MnSi}$  接合の微分コンダクタンスの拡張 BTK 理論による解析結果

### ② Ru 基ホイスラー合金

Fe-rich の化合物は、図 2 からわかるように室温よりも十分に大きな  $T_C$  をもち、飽和磁化の実験結果からもハーフメタル物質であることが示唆される。したがって、 $\text{Ru}_{2-x}\text{Fe}_x\text{CrSi}$  についても微分コンダクタンス

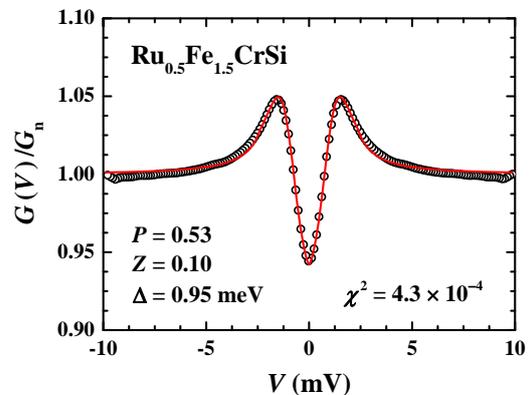


図 4  $\text{Pb}/\text{Ru}_{0.5}\text{Fe}_{1.5}\text{CrSi}$  接合の微分コンダクタンスの拡張 BTK 理論による解析結果

の測定を行った。 $x=1.5$  の Pb/Ru<sub>2-x</sub>Fe<sub>x</sub>CrSi 接合の微分コンダクタンスと拡張 BTK 理論による解析結果を図 4 に示す。図 4 からわかるように、実験データと理論計算の結果はよく一致し、 $x=1.5$  の組成でスピン分極率  $P=0.53$  であった。そのときのフィッティングパラメータの値も図 4 に記載した。他の組成  $x$  についても類似のスピン分極率の値であったが、 $x=1.8$  の組成で最大の  $P=0.63$  という値を得た。

ここで、Pb/Co<sub>2-x</sub>Fe<sub>x</sub>MnSi 接合と Pb/Ru<sub>2-x</sub>Fe<sub>x</sub>CrSi 接合の微分コンダクタンスを用いた拡張 BTK 理論による解析結果について記述する。Pb 薄膜の超伝導ギャップの値に関しては、バルクでの過去の報告  $\Delta=1.36$  meV よりも小さい  $\Delta=0.80\sim 0.95$  meV という値を得た。この  $\Delta$  の値の減少は、磁性体と超伝導体の界面における近接効果の影響であると考えられる。 $Z=0.0\sim 0.19$  という値はポテンシャルバリアー  $Z$  が十分に小さいことを示す。それゆえに、アンドレーエフ反射が生じやすい透過率の高い接合界面が形成できているといえる。最後に、合成した Co<sub>2-x</sub>Fe<sub>x</sub>MnSi と Ru<sub>2-x</sub>Fe<sub>x</sub>CrSi のスピン分極率  $P$  の値が、理論の予想する  $P=1$  という値より小さいことの原因は、接合界面の状態がバルクと異なる状態が形成される界面効果や、原子の乱れの効果などが考えられる。

### (3) 奇周波数クーパ対の近接効果

#### ① エピタキシャル多層膜の作製条件最適化

MgO 基板上にフルエピタキシャル NbN(100nm)/Co<sub>2</sub>MnSi(5nm) と NbN(100nm)/Co<sub>2</sub>FeSi(5nm) の多層膜を作製した。反高速電子線回折(RHEED)による観察から MgO 基板上に、NbN と Co<sub>2</sub>MnSi, Co<sub>2</sub>FeSi がエピタキシャルに成長し、かつ Co<sub>2</sub>MnSi と Co<sub>2</sub>FeSi が L2<sub>1</sub> 構造をもつことが確認できた。そこで、この多層膜の磁化測定を行ったところ、Co<sub>2</sub>MnSi の(110)方向が磁化容易軸であること、さらには飽和磁化の値もバルクの値に近い値を得ることができた。

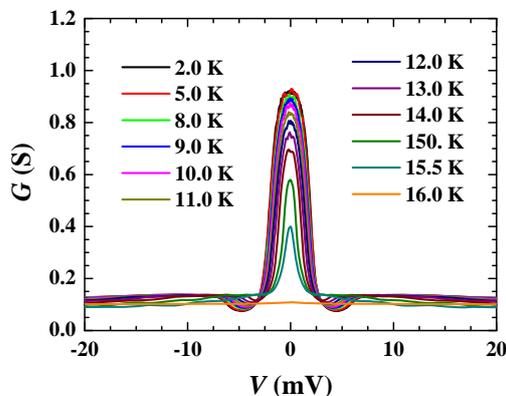


図 5 NbN/Co<sub>2</sub>MnSi 接合の微分コンダクタンス

#### ② ナノ接合の微分コンダクタンス特性

作製したナノ接合の微分コンダクタンスの温度依存性と磁場依存性の測定を行った。その温度依存性の実験結果を図 5 に示す。拡張 BTK 理論では超伝導ギャップ内部のコンダクタンスが常伝導状態の 2 倍を超えないが、我々の実験結果は 2 倍をはるかに超えるゼロバイアスコンダクタンスピークが観測された。これはハーフメタル型ホイスラー合金 Co<sub>2</sub>MnSi と超伝導体 NbN の接合界面で奇周波数クーパ対が形成されていると仮定すれば理解できる結果である。ハーフメタル型ホイスラー合金 Co<sub>2</sub>MnSi や Co<sub>2</sub>FeSi と NbN の接合界面で奇周波数クーパ対が形成されているという事実を確立すべく、今後は他の実験手法も含めて、奇周波数クーパ対の存在の検証を行う予定である。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 13 件)

- ① Magnetization and spin polarization of Co<sub>2-x</sub>Fe<sub>x</sub>MnSi Heusler alloys, I. Shigeta, S. Urakawa, M. Ito, M. Hiroi, Journal of Physics: Conference Series (accepted), (2012). [査読有]
- ② Spin polarized conductance in ferromagnet / insulator / conventional superconductor junctions, I. Shigeta, Y. Tanaka, Alexander A. Golubov, Masahiko Hiroi, Journal of Physics: Conference Series (accepted), (2012). [査読有]
- ③ Spin polarization of Fe-rich ferromagnetic compounds in Ru<sub>2-x</sub>Fe<sub>x</sub>CrSi Heusler alloys, I. Shigeta, O. Murayama, T. Hisamatsu, A. Brinkman, A. A. Golubov, Y. Tanaka, M. Ito, H. Hilgenkamp, M. Hiroi, Journal of Physics and Chemistry of Solids 72 (2011) 604-607, 査読有, DOI: 10.1016/j.jpcs.2010.10.062
- ④ Magnetic properties of Ru-rich Ru<sub>2-x</sub>Fe<sub>x</sub>CrZ (Z = Si, Ge), M. Hiroi, S. Nakashima, K. Nakao, T. Rokkaku, M. Ito, I. Shigeta, H. Manaka, N. Terada, Journal of Superconductivity and Novel Magnetism 24 (2011) 753-756, 査読有, DOI: 10.1007/s10948-010-0967-6
- ⑤ Measurements of spin polarization of Ru<sub>2-x</sub>Fe<sub>x</sub>CrSi Heusler alloys by Andreev reflection, I. Shigeta, O. Murayama, T. Hisamatsu, M. Ito, M. Hiroi, Physica C 470 (2010) S806-S807, 査読有, DOI: 10.1016/j.physc.2010.01.044

- ⑥ Effect of spin fluctuations on charge transport in diffusive normal metal / d-wave superconductor junctions, I. Shigeta, T. Yokoyama, Y. Asano, M. Hiroi, Y. Tanaka, *Physica C* 470 (2010) S854-S856, 査読有,  
DOI: 10.1016/j.physc.2009.12.015
- ⑦ Low-temperature magnetic properties of Heusler compounds  $Ru_{2-x}Fe_xCrSi$  ( $x = 0.1, 0.3, \text{ and } 0.5$ ), M. Ito, T. Hisamatsu, T. Rokkaku, I. Shigeta, H. Manaka, N. Terada, M. Hiroi, *Physical Review B* 82 (2010) 024406(1)-(7), 査読有,  
DOI:10.1103/PhysRevB.82.024406
- ⑧ Ferromagnetism and spin-glass transitions in the Heusler compounds  $Ru_{2-x}Fe_xCrSi$ , M. Hiroi, T. Rokkaku, K. Matsuda, T. Hisamatsu, I. Shigeta, M. Ito, T. Sakon, K. Koyama, K. Watanabe, S. Nakamura, T. Nojima, T. Nakano, L. Chen, T. Fujiwara, Y. Uwatoko, H. Manaka, N. Terada, *Physical Review B* 79 (2009) 224423(1)-(10), 査読有,  
DOI:10.1103/PhysRevB.79.224423
- ⑨ Midgap Andreev resonant state affected by superconducting proximity effect at junction interface of high- $T_c$  cuprate attached to diffusive normal metal, I. Shigeta, Y. Tanuma, Y. Asano, M. Hiroi, Y. Tanaka, *Journal of Physics: Conference Series* 150 (2009) 052235(1)-(4), 査読有,  
DOI:10.1088/1742-6596/150/5/052236
- ⑩ Effect of spin fluctuations on tunneling conductance in diffusive normal metal / conventional superconductor junctions, I. Shigeta, T. Yokoyama, Y. Asano, M. Hiroi, Y. Tanaka, *Journal of Physics: Conference Series* 150 (2009) 052236(1)-(4), 査読有,  
DOI:10.1088/1742-6596/150/5/052235

[学会発表] (計33件)

- ① Magnetization and spin polarization of  $Co_{2-x}Fe_xMnSi$  Heusler alloys, I. Shigeta, S. Urakawa, M. Ito, M. Hiroi, The 26th International Conference on Low Temperature Physics (LT26), August 10-17, 2011, the Beijing International Convention Center (BICC), Beijing, China.
- ② Spin polarized conductance in ferromagnet / insulator / conventional superconductor junctions, I. Shigeta, Y. Tanaka, A. A. Golubov, M. Hiroi, The 26th International Conference on Low

Temperature Physics (LT26), August 10-17, 2011, the Beijing International Convention Center (BICC), Beijing, China.

- ③ Spin polarization of Fe-rich ferromagnetic compounds in  $Ru_{2-x}Fe_xCrSi$  Heusler alloys, I. Shigeta, O. Murayama, T. Hisamatsu, A. Brinkman, A. A. Golubov, Y. Tanaka, M. Ito, H. Hilgenkamp, M. Hiroi, The 9th International Conference on Spectroscopies in Novel Superconductors (SNS2010), May 23-28, 2010, Fudan University, Shanghai, China.
- ④ Measurements of spin polarization of  $Ru_{2-x}Fe_xCrSi$  Heusler alloys by Andreev reflection, I. Shigeta, O. Murayama, T. Hisamatsu, M. Ito, M. Hiroi, The 9th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity ( $M^2S-IX$ ), September 7-12, 2009, Keio Plaza Hotel, Tokyo, Japan.
- ⑤ Effect of spin fluctuations on charge transport in diffusive normal metal / d-wave superconductor junctions, I. Shigeta, T. Yokoyama, Y. Asano, M. Hiroi, Y. Tanaka, The 9th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity ( $M^2S-IX$ ), September 7-12, 2009, Keio Plaza Hotel, Tokyo, Japan.
- ⑥ Spin polarization measurements of  $Ru_{2-x}Fe_xCrSi$  Heusler alloys in Fe-rich ferromagnetic region by Andreev reflection, I. Shigeta, O. Murayama, T. Hisamatsu, M. Ito, M. Hiroi, New Directions of Superconducting Nanostructures 2009 (NDSN2009), September 4-5, 2009, Lecture Hall, Environmental Studies Hall, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi, Japan.

[その他]

ホームページ等

<http://www.sci.kagoshima-u.ac.jp/~shigeta/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

重田 出 (SHIGETA IDURU)

鹿児島大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号 : 30370050