

科学的研究費補助金研究成果報告書

平成24年 5月 21日現在

機関番号：11301

研究種目：特定領域研究

研究期間：2007～2010

課題番号：19048003

研究課題名（和文） スピン源の探索・創製調整班

研究課題名（英文） Fabrication of spin source materials

研究代表者

高梨 弘毅 (TAKANASHI KOKI)

東北大学・金属材料研究所・教授

研究者番号：00187981

研究成果の概要（和文）：

本研究項目 A01「スピン源の探索・創製」では、スピン流の元となるスピン源の探索と創製を目的とした。「高効率スピン源の理論設計」、「ハーフメタル系材料を用いたヘテロ高効率スピン源の探索と創出」、「強磁性半導体の材料探索とナノ構造作製による強磁性制御」、「ナノ構造制御による高効率スピン源の探索と創製」、「高スピン偏極材料のナノ構造解析とスピン偏極率測定」、「軟X線磁気円二色性および軟X線散乱による高スピン偏極材料のキャラクタリゼーション」の6つの研究課題を設定して互いに連携をとりながら、研究を推進した。

研究成果の概要（英文）：

This study aimed to investigate and fabricate spin source materials for the creation of spin current. Six research fields, “Theoretical design of efficient sources of spin current”, “High-efficiency spin sources with a half-metallic ferromagnet”, “Control of magnetic properties of ferromagnetic semiconductors and application to spin-polarized electron source”, “Fabrication of highly efficient spin source materials by nanostructure control”, “Structural analysis and spin polarization measurements of highly spin polarized materials”, and “Characterization of highly spin-polarized materials using soft x-ray magnetic circular dichroism and soft x-ray scattering” were established, and collaborative researches were performed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,800,000	0	1,800,000
2008年度	3,700,000	0	3,700,000
2009年度	3,700,000	0	3,700,000
2010年度	2,700,000	0	2,700,000
年度			
総計	11,900,000	0	11,900,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・構造・機能材料

キーワード：磁性、スピンエレクトロニクス、ナノ材料、スピン流、物性機能

1. 研究開始当初の背景

特定領域研究「スピン流の創出と制御」に

おける研究項目 A01「スピン源の探索・創製」では、スピン流の元となるスピン源の探索と

創製を目的とし、高効率スピン源の理論設計、ハーフメタル系材料を用いたヘテロ高効率スピン源の探索と創出、強磁性半導体の材料探索とナノ構造作製による強磁性制御、ナノ構造制御による高効率スピン源の探索と創製、高スピン偏極材料のナノ構造解析とスピン偏極率測定、軟X線磁気円二色性および軟X線散乱による高スピン偏極材料のキャラクタリゼーション、の6つの研究課題を設定した。

2. 研究の目的

本調整班では、上記した6つの研究が有機的に連携し、理論設計→材料とナノ構造の探索・創製→構造と電子状態の評価、という一貫した共同研究体制が取れるように連絡調整を行った。また、計画研究と公募研究との連絡調整も行った。同時に、関連研究に関する動向調査を行い、「スピン源の探索・創製」に関する研究戦略の策定も行うことを目的とした。

3. 研究の方法

研究項目A01では、研究を「理論設計」、「材料・ナノ構造の探索・創製」「構造・電子状態評価」の大きく3つに区分し、効率的に研究が推進されるように、それぞれに関する研究動向調査を行い、相互間の情報交換、共同研究を促進させた。具体的研究計画は以下のとおりである。

(1) ナノ構造制御によるスピン源の探索・創製に関する研究動向調査を行い、研究戦略を策定する。同時に、各計画研究代表者間の連絡調整や、公募研究と計画研究との間の連絡調整も行う。

(2) 高効率スピン源の理論設計に関する研究動向調査を行い、理論研究と実験研究との間の情報交換を促進させる。

(3) ハーフメタル系材料や強磁性半導体材料の研究動向を調査し、材料研究の戦略を検討する。同時に、理論設計グループ、構造・電子状態評価グループとの間の共同研究を促進させることにより、スピン源としてのハーフメタル系材料や強磁性半導体材料のさらなる研究発展のための連絡調整を行う。

(4) ナノ構造解析やナノ構造における電子状態評価に関する研究動向調査を行い、材料・ナノ構造の探索・創製グループとの情報交換や共同研究の促進を行い、材料開発の指針を提示する。

(5) スピン源の探索と創製に関する研究成果のとりまとめを行う。特に、A01内での共同研究の成果を整理し、今後のさらなる研究発展の方策を検討する。

以上の研究計画を遂行するため、定期的な各々の研究グループ間で研究内容に関する議論会や、情報交換を行った。特に、年1回

程度の割合で、メンバー全体が集まって情報交換や共同研究の進捗状況説明、研究討論を行う班会議を催した。

また、平成20年度以降は、公募研究代表者のグループも参画したため、特に、計画研究のグループと公募研究のグループ間の共同研究や情報交換を意識的に進めることに努めた。

4. 研究成果

平成19年度は、各研究代表者による研究動向調査や相互の情報交換を通して、共同研究の促進・発展に努めた。2008年2月8~9日には北海道大学で第1回班会議が開催され、研究代表者、分担者、協力者合わせて18名が一堂に会し、研究討論を行った(図1)。

当該年度に開始され、あるいは発展した共同研究は以下のとおりである。

- ・電子構造の理論計算がこれまでのハーフメタルホイスラー合金だけでなく、 $L1_0$ 型規則合金まで拡張され、特に $L1_0$ -FePtを用いたトンネル接合に対して大きなトンネル磁気抵抗効果を得るための指針が明らかになった。

- ・磁気円二色性(XMCD)、光電子分光、軟X線散乱を用いた磁性半導体の評価を進展させるとともに、それらの手法がハーフメタルホイスラー薄膜の評価にも拡張された。

- ・電子顕微鏡やアトムプローブによる原子・ナノスケールでの構造解析の対象が、これまでの磁性規則合金だけでなく、磁性半導体にも拡張された。

平成20年度は、公募研究代表者7名(うち材料創製5名、評価2名)のグループが加わった。平成19年度と同様に、各研究代表者による研究動向調査や相互の情報交換を通して、共同研究の促進・発展に努めた。2009年1月6日には仙台で第2回班会議が開催され、研究代表者13名が一堂に会し、情報交換や研究討論を行った(図2)。



図1 北海道大学で行われた第1回班会議の写真。



図 2 東北大学で行われた第 2 回班会議の写真。

当該年度に開始され、あるいは発展した研究は以下のとおりである。

- ・これまでの規則合金に加えて、公募研究により、高スピン偏極合金としての窒化鉄やスピネルフェライトなどの材料にも研究対象が広げられた。また、新たなスピン源として、有機物や気体原子に関する研究も開始された。

- ・透過電子顕微鏡や磁気円二色性 (XMCD)、光電子分光などの評価手段に加えて、公募研究によりメスバウア効果を利用した局所磁性測定やスピン偏極 STM による表面評価の研究も開始された。

- ・窒化鉄のスピン偏極率測定やスピネルフェライトのメスバウア測定など、計画研究グループのみならず公募研究グループも含めた連携による共同研究が進められた。

平成 21 年度は、各研究代表者による研究動向調査や相互の情報交換を通して共同研究の促進・発展に努めるため、2010 年 3 月 29 日に筑波大学で第 3 回班会議が開催され、研究代表者 10 名が集まり、情報交換や共同研究の進捗状況説明、研究討論を行った。

当該年度に開始され、あるいは発展した研究は以下のとおりである。

- ・これまでの透過電子顕微鏡や磁気円二色性 (XMCD)、光電子分光などの評価手段に加えて、規則合金やホイスラー合金などのスピン源材となる材料のメスバウア分光による局所磁気状態の解明が行われた。

- ・ホイスラー合金とトンネル絶縁層界面におけるスピン構造と伝導特性の相関に関する理論計算が新たに行われた。

- ・三次元アトムプローブによる金属多層構造の局所組成分析が精力的に行われ、組成揺らぎなどに関する様々な知見が得られた。

平成 22 年度は、本研究領域の最終年度であり、各研究代表者による研究成果のとりまとめを行った。

当該年度に開始され、あるいは発展した研

究は以下のとおりである。

- ・ Co_2MnSi 層あるいは $\text{Co}_2\text{Fe}(\text{Al}_{0.5}\text{Si}_{0.5})$ 層と Ag 非磁性層を組み合わせた CPP-GMR 構造を作製し、室温において高い磁気抵抗効果比が得られることを確認した。また、理論計算と比較することでその発現機構を明らかにした。

- ・ホイスラー合金とトンネル絶縁層界面におけるノンコリニアな磁気構造とトンネル磁気伝導特性の相関に関する理論計算が行われた。

- ・磁性半導体である Co をドーブした TiO_2 薄膜において、軟 X 線磁気円二色性の測定を行い、キャリア誘起強磁性の発現機構を明らかにした。

- ・四元系磁性半導体である (Cd, Mn, Cr)Te 薄膜を分子線エピタキシ法により作製し、その磁気特性を明らかにした。

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 2 件)

① 高梨弘毅、固体中におけるスピン流の創出と制御、応用物理、査読有、**77** (2008) 255-263.

② K. Takanashi、Generation and Control of Spin Current in Magnetic Nanostructures、Association of Asia Pacific Physical Societies (AAPPS) Bulletin、査読有、**18** (2008) 47-51.

[学会発表] (計 1 件)

① K. Takanashi、Advanced spin-current phenomena (invited)、ASPI-MATT School、2011 年 8 月 25 日、Kaiserslautern, Germany

[その他]

領域ホームページ

http://www.scl.kyoto-u.ac.jp/~ono/tokutei/public_html/

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高梨 弘毅 (TAKANASHI KOKI)

東北大学・金属材料研究所・教授

研究者番号：00187981

(2) 研究分担者

白井 正文 (SHIRAI MASAFUMI)

東北大学・電気通信研究所・教授

研究者番号：70221306

山本 眞史 (YAMAMOTO MASAFUMI)

北海道大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：10322835

黒田 眞司 (KURODA SHINJI)
筑波大学・数理物質科学研究科・教授
研究者番号：40221949

高橋 有紀子 (TAKAHASHI YUKIKO)
物質・材料研究機構・磁性材料センター・
研究員
研究者番号：50421392

藤森 淳 (FUJIMORI ATSUSHI)
東京大学・理学系研究科・教授
研究者番号：10209108