

機関番号：12601

研究種目：特定領域研究

研究期間：2007 ～ 2010

課題番号：19048014

研究課題名（和文）スピン流とナノヘテロ構造調整班

研究課題名（英文）Coordination of the research on spin current and nano-hetero structures

研究代表者

大谷義近 (OTANI YOSHICHIKA)

東京大学・物性研究所・教授

研究者番号：60245610

研究成果の概要（和文）：

4つの個別計画研究（①金属ナノ構造を用いた「新しいスピン流生成・操作手法の探索」；②半導体ヘテロ構造を用いた「スピン軌道相互作用を用いたスピン流の電気的な検出と制御」；③「シリコンベース素子を用いたスピン注入効率の最適化」；④「ナノヘテロ構造におけるスピン注入とスピン蓄積の理論」）が有機的に結びついて相互に情報交換しながら進展するための支援体制を構築した。具体的には、①共有データベースサーバーの構築、②ビデオ会議システムの構築、③定期的な情報交換会議の開催及び関連国際学会に出席し成果発表および情報収集を行った。これらの支援システムを利用して、国内的にはグループ内で実験と理論研究の連携を通じて内因性スピンホール効果に関する成果を得ることができた。更に、国際会議参加を通じた情報収集からは、外因性スピンホール効果に関する日仏の共同研究がスタートし、重要な成果を得ることができた。

研究成果の概要（英文）：

Supporting systems were established for promoting collaboration among 4 independent research projects; 1. "Establishing novel methods for spin current generation and manipulation using metallic nano-structures", 2. "Electrical detection and control of spin current by using spin orbit interaction in semiconductors", 3. "Optimization of spin injection efficiency in silicon based spintronic devices", "Theory of spin injection and accumulation in nano-hetero structures". To be more precise, we have organized 1) a shared data server, 2) a video conference system, 3) periodical meetings to exchange domestic and international research information and also support for travel to attend international conferences. By using above supporting systems, we successfully obtained demonstrative results on the intrinsic origin of spin Hall effects via collaboration between theoretical and experimental groups. Moreover the discussion at the international conferences promoted successful research collaboration of French and Japanese groups for the study of the extrinsic mechanism of the spin Hall effects, leading to an important achievement.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|------------|------|------------|
| 2007年度 | 1,900,000 | 0 | 1,900,000 |
| 2008年度 | 3,900,000 | 0 | 3,900,000 |
| 2009年度 | 3,900,000 | 0 | 3,900,000 |
| 2010年度 | 2,900,000 | 0 | 2,900,000 |
| 年度 | | | |
| 総計 | 12,600,000 | 0 | 12,600,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・機能材料

キーワード：金属スピントロニクス、スピン注入、スピン蓄積

1. 研究開始当初の背景

巨大磁気抵抗効果やトンネル磁気抵抗効果の発現機構を担うスピン流は、スピンと電流の両者を運ぶスピン偏極電流である。当時、スピン偏極電流は角運動量を運び、それを用いることで磁化反転制御が可能となることから、磁気抵抗型固体メモリの開発研究に大きな注目が集まっていた。一方、磁性体を用いずにスピン流を作り出すスピンホール効果の理論的な予測とその検証実験が行われ、スピン流が必ずしも電流を伴うものではなく、スピンのみの流れである純スピン流を独立に取り出すことも可能であることが明らかとなっていた。このようなスピントロニクス研究の新展開に伴い、磁氣的、電氣的、光学的な信号を有機的に結びつける純スピン流をいかに効率的に生成できるか、あるいはその物性を明らかにすることが急務となっていた。

2. 研究の目的

本特定領域研究・研究項目「スピン流とナノヘテロ構造」では、金属、半導体、酸化物等で構成されるナノヘテロ構造を用いて電荷流からスピン流を効率良く生成し、伝播させ、更に電荷流に再変換する新たな操作原理を探索し、その手法を確立することを目的とする。最終的には研究成果を基にシリコンベース素子技術に統合されうるスピン流基盤技術の実験検証を目指す。このためには独立に進行する4つの個別計画研究(①金属ナノ構造を用いた「新しいスピン流生成・操作手法の探索」;②半導体ヘテロ構造を用いた「スピン軌道相互作用を用いたスピン流の電氣的な検出と制御」;③「シリコンベース素子を用いたスピン注入効率の最適化」;④「ナノヘテロ構造におけるスピン注入とスピン蓄積の理論」)が有機的に結びついて相互に情報交換しながら進展する必要がある。このための支援体制を構築し、実際に研究進展に役立てることが本課題の目的である。

3. 研究の方法

円滑な情報交換を可能にするために、①共有データベースサーバーの構築、②ビデオ会議システムの構築、③定期的な情報交換会議の開催及び関連国際学会に出席し成果発表および情報収集を行った。

4. 研究成果

平成19年度から20年度にはPCベースのビデオ会議システムを立ち上げ、情報交換や年次成果報告会に合わせて研究調整会議を開

催した。これにより有益な情報交換を行うことができた。また、本プロジェクトに参加する外国人研究者の面接などにも本システムを有効活用することができた。21年度は、それぞれの分担者が国際会議での招待講演を行うと同時に同研究分野の世界的動向を調査する目的で、4つの国際会議に出席した。最終年度の22年度は、これまでに班内の研究から得られた成果を国内外の学会および研究会で講演、あるいは論文として発表することを主目的として活動を進めた。必要に応じて公募研究として加わった研究者にも国際会議や国際ワークショップに参加するための援助を支弁した。

上述の成果発表とは別に、これまで行って来た「スピン流とナノヘテロ構造」研究に関係する4人の研究者と2人の公募研究者を含めたメンバーによる研究調整会議やビデオ会議を従来通り開催し、理論と実験の共同研究により得た成果をより深めることが可能となった。

成果の一例として、国内的にはグループ内で実験と理論研究の連携を通じて内因性スピンホール効果に関する成果を得ることができた。更に、国際会議参加を通じた情報収集からは、外因性スピンホール効果に関する日仏の共同研究がスタートし、インパクトのある成果を得ることができた。この結果はPhysical Review Letter誌に採択され出版された。このように、研究活動の国際的な発展に結び付く成果が上がった。

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 6件)

1. M. Morota, Y. Niimi, K. Ohnishi, D. H. Wei, T. Tanaka, H. Kontani, T. Kimura, and Y. Otani, "Systematic study of spin Hall effects in 4d and 5d transition metals; indication of intrinsic spin Hall effect", Phys. Rev. B 83, 174405-1-5 (2011).
2. Y. Niimi, M. Morota, D. H. Wei, C. Deranlot, M. Basletic, A. Hamzic, A. Fert, and Y. Otani, "Extrinsic spin Hall effect induced by Iridium impurities in Copper", Phys. Rev. Lett. **106**, 12601-1-4 (2011).
3. G. S. Jenkins, D. C. Schmadel, P. L. Bachl, R. L. Greene1, X. Béchamp- aganière, G. Roberge, P. Fournier, Hiroshi Kontani, and H. D. Drew, "Origin of the anomalous Hall effect in the overdoped n-type superconductor Pr_{2-x}Ce_xCuO₄:"

- Current-vertex corrections due to antiferromagnetic fluctuations,” Phys. Rev. B **81**, 024508-1~5 (2010).
4. K. Ito, G. H. Lee, K. Harada, M. Suzuno, T. Suemasu, Y. Takeda, Y. Saitoh, M. Ye, A. Kimura, and H. Akinaga, “Spin and orbital magnetic moments of molecular beam epitaxy γ' -Fe₄N films on LaAlO₃(001) and MgO(001) substrates by x-ray magnetic circular dichroism”, Appl. Phys. Lett. **98**, 102507 (2011).
 5. J. Shiogai, D. Schuh, W. Wegscheider, M. Kohda, J. Nitta, and D. Weiss, “Magnitude and sign control of lithography-induced uniaxial anisotropy in ultra-thin (Ga,Mn)As wires,” Appl. Phys. Lett. **98**, 083101 (2011)
 6. Makoto Kohda, and Junsaku Nitta, “Enhancement of spin-orbit interaction and the effect of interface diffusion in quaternary InGaAsP/InGaAs heterostructures,” Phys. Rev. B **81**, 115118-1~8 (2010).

[学会発表] (計 9 件)

1. Y. Otani, "Experimentalist of the Week: Non-local spin-transfer torques (invited)," Progress in Spintronics and Graphene Research, Kavli Institute for Theoretical Physics China at the Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, April 2010.
2. Y. Otani, Y. Fukuma, and K. Ohnishi, "Spin injection and absorption efficiency in metallic and superconductive lateral spin valves (invited)," International Conference on Core Research and Engineering Science of Advanced Materials(ICNDR), Osaka University, Japan, May 2010.
3. Y. Otani, "Efficient spin accumulation and pure-spin-current-induced magnetization switching(invited)," Spin and Charge at the Nanoscale 2010: 45 Years of Magnetism, Simon Fraser University, Canada, August 2010.
4. Y. Otani, Y. Fukuma, L. Wang, and H. Idzuchi, "Spin transport in lateral spin valves consisting of permalloy and nonmagnetic Cu, Ag, or Mg with MgO interface layer(invited)," IEEE 7th International Symposium on Metallic Multilayers(MML2010), Berkeley, USA, September 2010.
5. J. Nitta (Plenary), “Spin Coherent Transport in InGaAs Based wire and Ring Structures”, The 6th International Conference on the Physics and Applications of Spin Related Phenomena in Semiconductors, August 1st (2010), Tokyo.
6. H. Akinaga, H. Shima, K. Sadakuni-Makabe, K. Harada, K. Ito, and T. Suemasu, “Spintronic materials and the application to Si-based devices”, International Conference of AUMS

(Asian Union of Magnetism Societies) Jeju, Korea Dec. 2010.

7. K. Sadakuni-Makabe, M. Suzuno, K. Harada, H. Akinaga, and T. Suemasu, “Fabrication of Fe₃Si/CaF₂ Heterostructures Ferromagnetic Resonant Tunneling Diode by Selected-Area Molecular Beam Epit”, APAC Silicide 2010, Tukuba, Japan July 2010.
8. J. Inoue, “Semiconductor and graphene spintronics”, Progress in Spintronics and Graphene Research, Beijing, China June 2010.
9. J. Inoue, S. Honda, and H. Itoh, “Graphene for Magnetoresistive Junction”, MRS2010, Boston, USA Nov. 2010.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大谷 義近 (OTANI YOSHICHIKA)
 東京大学・物性研究所・教授
 研究者番号：60245610

(2) 研究分担者

新田 淳作 (NITTA JUNSAKU)
 東北大学・大学院工学研究科・教授
 研究者番号：00393778

秋永 広幸 (AKINAGA HIROYUKI)
 独) 産業技術総合研究所・ナノテクノロジー研究部門・研究グループ長
 研究者番号：90221712

井上 順一郎 (INOUE JUNICHIRO)
 名古屋大学・大学院工学研究科・教授
 研究者番号：60115532