

課題番号	GR006
------	-------

**先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム)
実施状況報告書(平成23年度)**

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名	スピン波スピン流伝導の開拓による超省エネルギー情報処理デバイスの創出
研究機関・部局・職名	東北大学・金属材料研究所・助教
氏名	安藤和也

1. 当該年度の研究目的

磁性絶縁体/金属構造におけるスピン流生成を系統的に調べ、非線形スピンダイナミクスとスピン流の相互作用を体系化する。これにより絶縁体からの巨大スピン流生成の実現とスピン流非線形効果を用いたスピン流素子の基本原理構築を目指す。さらにスピンダイナミクスと動的交換相互作用を用いることで、磁性絶縁体を含む高抵抗物質一般に応用可能な汎用的スピン流注入源を開拓する。

2. 研究の実施状況

非線形スピンダイナミクスにより駆動されるスピンポンピングと逆スピンホール効果を用いることで、波数の大きなスピン波の特異な振る舞いを見出した(未発表)。さらに本年度は磁化ダイナミクスを用いたスピン流生成に大きな進展があった。従来のスピン流注入は強磁性/半導体接合に電流を流し、界面でのキャリア輸送を利用することで非磁性物質にスピン流を生成する。この場合インピーダンスミスマッチとして知られる強い物理的制限のため、原理的に高抵抗物質へのスピン流注入が困難である。本研究では磁化ダイナミクスを用いた動的なスピン交換相互作用を用いることで、電子のスピンだけを直接駆動する「スピン圧」を半導体に直接与えてスピン流を作り出すことに成功した(Nature Materials 2011)。これにより従来と比較して桁違いの巨大スピン流を作り出すことが容易に可能となった。さらに本手法を用いることで半導体シリコン中の逆スピンホール効果の観測に成功した(Nature Communications 2012)。スピン流の電気的検出を可能とする逆スピンホール効果の観測が実現されている物質はスピン軌道相互作用の強い直接遷移型の半導体にごく限られていた。現代のエレクトロニクスを支える中心的な物質であるシリコンは、結晶の対称性と弱いスピン軌道相互作用に由来する長いスピン緩和時間により、スピントロニクスにおいても重要な物質と期待されている。本研究に得られた成果はシリコンがスピン伝送路としてだけでなくスピン検出器としても利用可能であることを示すものであり、既存のエレクトロニクス技術を最大限生かしたスピントロニクスデバイス実現の道が開かれた。

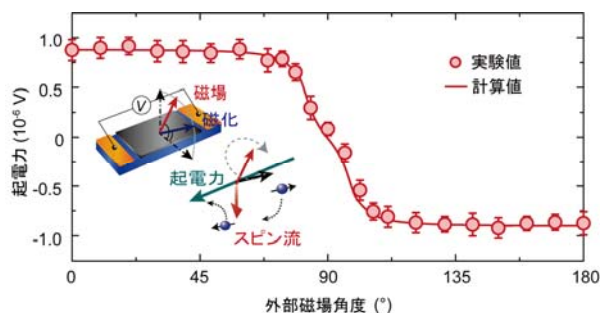


図1. シリコン中のスピン流—電流変換観測。

3. 研究発表等

<p>雑誌論文 計7件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計7件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kazuya Ando and Eiji Saitoh, "Observation of the inverse spin Hall effect in silicon," Nature Communications 3, 629 (2012). 2. R. Takahashi, R. Iguchi, K. Ando, H. Nakayama, T. Yoshino, and E. Saitoh, "Electrical determination of spin mixing conductance at metal/insulator interface using inverse spin-Hall effect," Journal of Applied Physics 111, 07C307 (2012). 3. Hiroyasu Nakayama, Jianting Ye, Takashi Ohtani, Yasunori Fujikawa, Kazuya Ando, Yoshihiro Iwasa, and Eiji Saitoh, "Electroresistance Effect in Gold Thin Film Induced by Ionic-Liquid-Gated Electric Double Layer," Applied Physics Express 5, 023002 (2012). 4. H. Nakayama, T. Tashiro, R. Takahashi, Y. Kajiwara, T. Ohtani, K. Ando, R. Iguchi, K. Uchida, T. Yoshino, and E. Saitoh, "Suppression of spin pumping in the presence of thin titanium interlayer," Key Engineering Materials 508, 347-352 (2012). 5. Z. Qiu, Y. Kajiwara, K. Ando, Y. Fujikawa, K. Uchida, T. Tashiro, K. Harii, T. Yoshino, and E. Saitoh, "All-oxide system for spin pumping," Applied Physics Letters 100, 022402 (2012). 6. K. Ando, T. An, and E. Saitoh, "Nonlinear spin pumping induced by parametric excitation," Applied Physics Letters 99, 092510 (2011). 7. K. Ando, S. Takahashi, J. Ieda, H. Kurebayashi, T. Trypiniotis, C. H. W. Barnes, S. Maekawa, and E. Saitoh, "Electrically tunable spin injector free from the impedance mismatch problem," Nature Materials 10,655-659(2011). <p>(掲載済み一査読無し) 計0件</p> <p>(未掲載) 計0件</p>
<p>会議発表 計8件</p>	<p>専門家向け 計8件</p> <p><u>招待講演</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. K. Ando, "Dynamical spin injection into semiconductors," International Workshop for Group-IV Spintronics, January 20, 2012, Osaka, Japan. 2. 安藤和也, 「磁化ダイナミクスを用いたスピン流生成」, ディラック電子とスピントロニクス, 2011年12月3日, 東邦大学. 3. 安藤和也, 「磁化ダイナミクスを用いた半導体へのスピン流注入」, Physics and Applications of Spin-related Phenomena in Semiconductors (PASPS) 16, 2011年11月29日, 東京工業大学. 4. 安藤和也, 「金属及び絶縁体からのスピン流生成」, 第2回固体材料における電界効果の物理と応用の進展, 2011年7月29日, 仙台. <p><u>国際会議</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. K. Ando, H. Kurebayashi, T. Trypiniotis, and E. Saitoh, "Electrically tunable spin injector free from the impedance mismatch problem," 56th Magnetism and Magnetic Materials Conference, October 30-November 3, 2011, Scottsdale, Arizona, USA. 2. K. Ando, Y. Kajiwara, and E. Saitoh, "Generation of spin current from metal and insulator," Spintech6, August 1-5, 2011, Matsue, Japan. 3. K. Ando, T. Trypiniotis, C. H. W. Barnes, and E. Saitoh, "Direct conversion of light-polarization information into electric voltage using inverse spin-Hall effect," Intermag 2011, April 25-29, 2011, Taipei, Taiwan. <p><u>国内会議</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 安藤和也, 紅林秀和, Theodossis Trypiniotis, 齊藤英治, 「磁化ダイナミクスを用いた半導体へのスピン注入(実験)」, 日本物理学会 2011年度秋季大会, 2011年9月21日, 富山大学. <p>一般向け 計0件</p>

様式19 別紙1

<p>図書 計1件</p>	<p>1. K. Ando and E. Saitoh, "Spin Photodetector: Conversion of Light Polarization Information into Electric Voltage Using Inverse Spin Hall Effect," Photodetectors, edited by Sanka Gateva (InTech, 2012) ISBN 978-953-51-0358-5, 総ページ数 460.</p>
<p>産業財産権 出願・取得状 況 計0件</p>	<p>(取得済み) 計0件 (出願中) 計0件</p>
<p>Webページ (URL)</p>	<p>http://www-lab.imr.tohoku.ac.jp/~ando/Kazuya_Ando/Next_Program.html</p>
<p>国民との科 学・技術対話 の実施状況</p>	<p>ホームページでの研究最新情報の配信およびメールでの質問・疑問への対応</p>
<p>新聞・一般雑 誌等掲載 計12件</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1 2012年3月12日: MRS Bulletin (37, 186 (2012)) "Inverse spin Hall effect observed in silicon" Steven Spurgeon. 2 2012年2月3日: 科学新聞 4面「東北大金研 相対論的效果を利用 スピン流を電気信号に変換 -シリコンスピントロニクスへ道-」 3 2012年1月19日: マイナビニュース (web)(Yahoo!ニュース、goo ニュースにも掲載) 「東北大、相対論的效果により Si 中の磁気の流れの電気信号への変換に成功」 4 2012年1月19日: 日経産業新聞「東北大 超省エネ演算処理前進 -電流に代え「スピン流」- 5 2012年1月18日: 日刊工業新聞「東北大 シリコン中のスピン流電気信号変換に成功 -次世代素子実現へ一歩- 6 2011年9月5日: NPG Asia Materials "Spintronics: Pumped injection" (doi:10.1038/asiamat.2011.132). 7 2011年8月23日: Nature Materials, News and Views (10, 647-648 (2011)) "Spintronics: Taming spin currents" I. Žutić and Hanan Dery. 8 2011年6月29日: マイコミジャーナル(毎日コミュニケーションズ)(web)(Yahoo!ニュース、goo ニュースにも掲載) 「東北大と JAEA、あらゆる物質で利用可能な新たなスピン流注入手法を発見」 9 2011年6月28日: 日経産業新聞9面「電子の磁石「スピン」材料に簡単注入東北大超省エネ基板技術に」 10 2011年6月27日: 日刊工業新聞 17面「スピン流 1000倍超注入に成功」 11 2011年6月27日: 日本経済新聞(プレスリリース)「東北大など、あらゆる物質で利用可能な新たなスピン流注入手法を発見」 12 2011年6月27日: 化学工業日報「東北大と JAEA 新スピン流注入手法を発見」
<p>その他</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 船井研究奨励賞(財団法人船井情報科学振興財団)2011年5月28日. 2. インテリジェントコスモス奨励賞 (インテリジェントコスモス振興財団)2011年5月16日.

4. その他特記事項

該当なし。

実施状況報告書(平成23年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されます

1. 助成金の受領状況(累計)

(単位:円)

	①交付決定額	②既受領額 (前年度迄の 累計)	③当該年度受 領額	④(=①-②- ③)未受領額	既返還額(前 年度迄の累 計)
直接経費	123,000,000	101,150,000	0	21,850,000	0
間接経費	36,900,000	30,345,000	0	6,555,000	0
合計	159,900,000	131,495,000	0	28,405,000	0

2. 当該年度の収支状況

(単位:円)

	①前年度未執 行額	②当該年度受 領額	③当該年度受 取利息等額 (未収利息を除 く)	④(=①+②+ ③)当該年度 合計収入	⑤当該年度執 行額	⑥(=④-⑤) 当該年度未執 行額	当該年度返還 額
直接経費	100,500,000	0	0	100,500,000	86,129,888	14,370,112	0
間接経費	30,248,000	0	0	30,248,000	28,451,158	1,796,842	0
合計	130,748,000	0	0	130,748,000	114,581,046	16,166,954	0

3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	83,126,939	物理特性測定装置、マニュアルプローパー等
旅費	1,663,330	研究成果発表旅費等
謝金・人件費等	54,930	謝金
その他	1,284,689	論文投稿料等
直接経費計	86,129,888	
間接経費計	28,451,158	
合計	114,581,046	

4. 当該年度の主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能 等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関 名
物理特性測定装置	PPMS-14T	1	60,900,000	60,900,000	2011/12/22	東北大学
マニュアルプロー パー	Grail10-305-4- LV-MG	1	22,050,000	22,050,000	2012/2/24	東北大学
				0		