

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) 実績報告書

本様式の内容は一般に公表されません

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	慶應義塾大学・理工学部・専任講師
氏名	安藤 和也

1. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

2. 収支の状況

(単位:円)

	交付決定額	交付を受けた額	利息等収入額	収入額合計	執行額	未執行額	既返還額
直接経費	123,000,000	123,000,000	0	123,000,000	123,000,000	0	0
間接経費	36,900,000	36,900,000	1,453,153	38,353,153	38,353,153	0	0
合計	159,900,000	159,900,000	1,453,153	161,353,153	161,353,153	0	0

3. 執行額内訳

(単位:円)

費目	平成22年度	平成23年度	平成24年度	平成25年度	合計
物品費	650,000	83,126,939	709,161	26,658,059	111,144,159
旅費	0	1,663,330	3,594,928	653,140	5,911,398
謝金・人件費等	0	54,930	29,220	1,378,465	1,462,615
その他	0	1,284,689	346,294	2,850,845	4,481,828
直接経費計	650,000	86,129,888	4,679,603	31,540,509	123,000,000
間接経費計	97,000	28,451,158	342,842	9,462,153	38,353,153
合計	747,000	114,581,046	5,022,445	41,002,662	161,353,153

4. 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
デジタルロックインアンプ	LI5640(nf社製)	1	647,220	647,220	2011/2/25	慶應義塾大学(H.25.4.1東 北大学より移管)
物理特性測定装置	PPMS-14T	1	60,900,000	60,900,000	2011/12/22	慶應義塾大学(H.25.4.1東 北大学より移管)
マニュアルプローバー	Grail10-305- 4-LV-MG	1	22,050,000	22,050,000	2012/2/24	慶應義塾大学(H.25.4.1東 北大学より移管)
超高真空排気装置	KS-08TCT- FRSU	1	1,405,000	1,405,000	2013/4/26	慶應義塾大学
ガウスメータ	TRG-3	1	723,450	723,450	2013/5/22	慶應義塾大学
ネットワークアナライザ	N5231A/216	1	2,999,850	2,999,850	2013/5/22	慶應義塾大学
シグナルアナライザ	N9010A/513/P 0	1	2,999,850	2,999,850	2013/5/22	慶應義塾大学
プリント基板加工機	ElevenLab	1	1,458,975	1,458,975	2013/5/22	慶應義塾大学
AC/DC電流源	Keithley6221	1	588,000	588,000	2013/7/1	慶應義塾大学
電子スピン共鳴装置	JES-FA200(中 古品)	1	2,919,000	2,919,000	2013/8/1	慶應義塾大学
UHV対応移動式スパッタガン	ES-3000U	1	2,900,000	2,900,000	2014/2/12	慶應義塾大学
RF500W電源	RFK05ZF	1	2,900,000	2,900,000	2014/2/12	慶應義塾大学
DC1kW電源	HPK01Z	1	2,800,000	2,800,000	2014/2/12	慶應義塾大学

5. 研究成果の概要

本研究は、金属・半導体・絶縁体中の電子スピンの流れ「スピン流」の物理を開拓することで、電流を用いない省エネルギー電子デバイスの物理基盤構築を目指した。本研究により動的スピン交換相互作用を用いた極めて汎用的スピン流生成手法を確立し、あらゆる物質中のスピン流物性探索が初めて可能となった。本手法を用いることで、スピン流非線形現象・シリコン中のスピホール効果・導電性高分子中のスピン流-電流変換とスピン緩和といった新現象の発見・原理解明へと繋がった。以上の成果はスピントロニクス研究の新たな道を拓くものであり、スピン流を用いた次世代電子デバイスの基盤となる。

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) 研究成果報告書

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名 (下段英語表記)	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
	Ultralow-power information processing device based on spin-wave spin current
研究機関・部局・ 職名 (下段英語表記)	慶應義塾大学・理工学部・専任講師
	Keio University, Department of Applied Physics and Physico-Informatics, Assistant Professor
氏名 (下段英語表記)	安藤 和也
	Ando Kazuya

研究成果の概要

(和文):本研究は、金属・半導体・絶縁体中の電子スピンの流れ「スピン流」の物理を開拓することで、電流を用いない省エネルギー電子デバイスの物理基盤構築を目指した。本研究により動的スピン交換相互作用を用いた極めて汎用的スピン流生成手法を確立し、あらゆる物質中のスピン流物性探索が初めて可能となった。本手法を用いることで、スピン流非線形現象・シリコン中のスピンホール効果・導電性高分子中のスピン流－電流変換とスピン緩和といった新現象の発見・原理解明へと繋がった。以上の成果はスピントロニクス研究の新たな道を拓くものであり、スピン流を用いた次世代電子デバイスの基盤となる。

(英文): This study aims to develop the building blocks of low-energy devices by exploring the physics of spin currents, a flow of electron spins, in metals, semiconductors, and insulators. We established a versatile method for generating spin currents through dynamical spin exchange coupling, which enables to investigate spin-current physics in a wide range of materials. Using this method, we discovered new physics of spin currents: nonlinear spin-current phenomena, spin Hall effect in silicon, and spin-charge conversion and spin relaxation in conducting polymers. These results open new opportunities for spintronics, being the foundation of next-generation electronic devices based on spin currents.

様式21

1. 執行金額 161,353,153円
(うち、直接経費 123,000,000円、間接経費38,353,153円)

2. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

3. 研究目的

電荷の流れである電流に対し、電子のスピンだけの流れ「スピン流」を生成することも可能である。スピン流にはオームの法則に相当するエネルギー散逸機構が無く、これを利用することでジュール熱によるエネルギー損失が原理的に存在しない超省エネルギー情報処理デバイスが構築できる。本研究は、金属・半導体中の伝導電子に輸送されるスピン流のみならず、絶縁体におけるスピン間の相互作用により輸送されるスピン波スピン流の生成・制御・検出技術を確立する。これによりスピン流を基軸とした超省エネルギー電子技術の基盤を創出することで、環境負荷の極めて小さな省エネルギー社会実現に貢献する。

4. 研究計画・方法

本研究は、金属・半導体・絶縁体中のスピン流物性を系統的に調べ、スピン流を用いた省エネルギー電子デバイスの物理基盤を構築することを目指した。この目的のため、スピン軌道相互作用によるスピン流－電流変換「スピンホール効果」を用いることで、絶縁体中のマグノンスピン流の生成・制御・検出及び伝導電子・ポーラロンにより輸送されるスピン流物性を系統的且つ定量的に調べた。特に、金属/絶縁体界面におけるスピン流交換の定量とモデル化、非線形スピン流生成現象の探索、汎用的スピン流生成手法の確立とこれ用いた物性探索を遂行した。

5. 研究成果・波及効果

本研究は、金属及び半導体のみならず絶縁体まで含めた広範囲の物質群におけるスピン流物性を明らかにし、スピン流を用いた省エネルギー電子デバイスの物理基盤を構築した。本研究の主要研究成果は大きく分けて次の5点である。

1. 磁性絶縁体中のスピン流非線形効果発見

[Physical Review Letters 109, 026602 (2012)]

2. 動的スピン流生成によるあらゆる物質へのスピン流注入手法の確立

[Nature Materials 10, 655 (2012)]

3. シリコン中のスピンホール効果観測

[Nature Communications 3, 629 (2012)]

4. 導電性高分子における長いスピン緩和時間・高いスピン流－電流変換効率共存の発見

[Nature Materials 12, 622 (2013)]

5. ホッピング伝導系におけるスピン流緩和機構の解明

[Nature Physics (Advanced Online Publication, DOI:10.1038/NPHYS2901)]

上記研究成果は研究計画当初の目標を大きく上回るものであり、ジュール熱による巨大なエネルギー損失が不可避である電流ではなく、電子スピンの流れであるスピン流を用いた超省エネルギー電子デバイスの大きな推進力となることが期待される。特に本研究により確立された動的スピン流生成はこれまで困難であった広範囲の環境・物質群におけるスピン流物性研究を初めて可能とし、上記研究成果の基盤となっただけでなく、現在ではスピントロニクス研究の標準的手法として世界中に浸透している。以下に各研究成果の詳細を述べる。

スピン流は金属・半導体中の伝導電子のみならず、磁性絶縁体中の素励起「マグノン」によっても輸送される。従って、磁性絶縁体は電流の全く流れない系でありながら、スピン間の相互作用によりスピン角運動量を輸送するスピン伝導体であり、本研究では金属との接合に注目し、伝導電子スピン流とマグノンスピン流の変換及び非線形スピン流効果を開拓した。特に磁気ダンピングの小さいイットリウム鉄

ガーネット単結晶を用いることで、マグノン分裂効果による非線形スピン流生成現象の存在が明らかとなった(Applied Physics Letters 99, 092510 (2011))。これによりスピン系の非線形性を利用した巨大スピン流生成のルートが明らかとなった。更に金属/絶縁体接合における交換モードマグノンに輸送されるスピン流と金属中の伝導電子スピン流の間に波数選択的相互作用が存在する

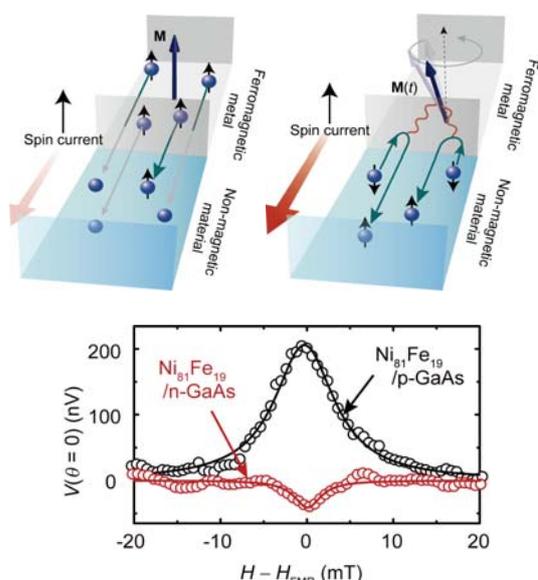


図2. 従来の電氣的スピン流注入（左上）と本研究により確立された動的スピン流注入（右下）。下図は動的スピン流注入の検出結果。

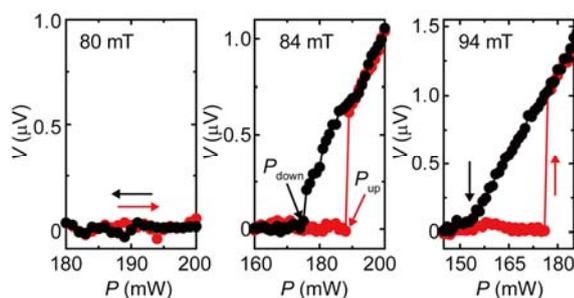


図1. 金属/絶縁体接合における双安定マグノンスピン流の観測。

ことを見出した。巨大な波数の交換モードマグノンは更に負の非線形ダンピングによる双安定性を示すことが明らかとなり、双安定スピン流の存在を見出した(Physical Review Letters 109, 026602 (2012))。本研究により明らかとなったスピン流非線形現象は、金属・半導体・絶縁体を用いたスピン流回路構築において能動素子の基礎原理と成ることが期待される。

上記研究成果は、磁性絶縁体から金属へのスピン流注入を利用して得られたものであるが、多くの場合スピン流を作り出すことは容易ではなく、特に電気抵抗率の高い物質に関しては、インピーダンスミスマッチと呼ばれる物理的制限によりスピン流注入が原理的に困難であった。この制限を回避す

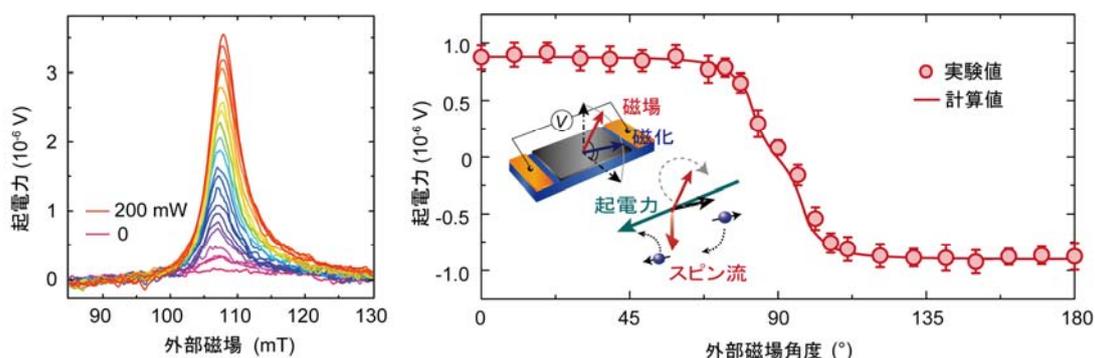


図3. シリコン中のスピンの流—電気信号変換の観測。

る唯一の方法は高品質な絶縁膜をスピンの流注入源との界面に成長させることであったが、このような良質な絶縁膜を作成するためには莫大な労力・時間が必要であり、スピントロニクス材料の開拓、スピントロニクスデバイスの設計のために、あらゆる物質へ応用可能な汎用的且つ高効率なスピンの流注入手法が強く求められていた。そこで本研究では磁性/非磁性界面における磁化とキャリアスピンの動的交換相互作用に注目し、角運動量保存則に基づく動的スピンの流生成手法を開拓した。本手法を用いて半導体 GaAs へのスピンの流注入を試みた結果、低抵抗オーミック接合における室温でのスピンの流注入に初めて成功し、本手法の極めて高い汎用性が明らかとなった (Nature Materials 10, 655 (2012))。更に界面動的交換相互作用の電場変調により、この動的スピンの流生成手法を電氣的に制御することに成功した。この発見によってこれまでのスピントロニクスの常識を破る極めてシンプルな方法で従来より数桁巨大な伝導電子スピンの流を創り出すことが可能となり、スピントロニクスデバイス設計及び材料選択の自由度が飛躍的に広がった。

動的スピンの流生成手法を用いて半導体へのスピンの流注入に関する研究を更に推し進めた結果、シリコン中の相対論的効果によるスピンの流—電流変換の観測に成功した (Nature Communications 3, 629 (2012))。シリコンはエレクトロニクスの基幹材料であり、結晶の対称性や原子番号が小さいことからスピンの情報を長時間保持でき、スピンの情報の蓄積やスピンの流伝送路として有望な物質として期待されてきた。本研究は、シリコンがさらにスピンの流の検出を可能とすることを明らかにし、莫大な研究開発により支えられてきた自由度の高いシリコンデバイスの構造設計技術を最大限活用できるシリコンベースのスピントロニクスデバイス開発に大きな進展をもたらすことが期待される。

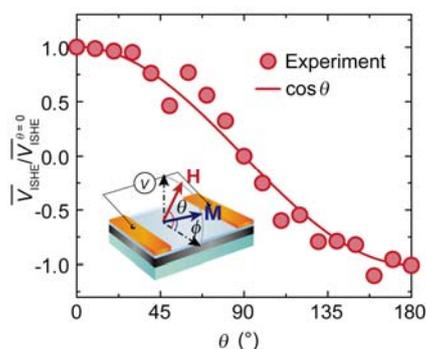
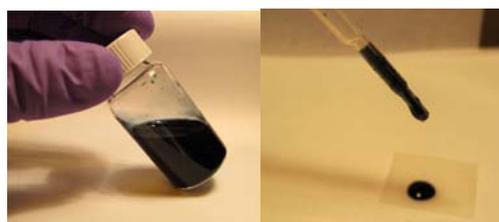


図4. 塗るだけで出来上がるスピンの流—電流変換材料の発見。

上記進展により、動的スピンドラ生成を用いたスピンドラ物性研究のルートが拓かれた。スピントロニクス黎明期からの莫大な研究によりスピンドラの体系的理解が得られている金属・無機半導体に対し、キャリア伝導がホッピングに支配される導電性高分子のスピンドラ伝導は殆ど理解が進んでいなかった。導電性高分子は金属や無機半導体と比較して柔軟性に富んでおり、薄くて軽く曲げられるようなトランジスタ回路や発光デバイスを作製できる。さらに印刷技術を利用して塗布することができる低価格化・大面積化が容易な次世代のエレクトロニクス材料であり、スピントロニクスにおける重要性も指摘され始めた。導電性高分子は軽元素から構成されるため金属や無機半導体と比較して著しく小さなスピンドラ軌道相互作用が期待される。本研究は、動的スピンドラ生成手法を用いることで、このようなスピンドラ軌道相互作用が極めて弱い系においてもスピンドラ-電流変換が発現することを明らかにした(Nature Materials 12, 622 (2013))。特に、導電性高分子 PEDOT:PSS においてマイクロ秒オーダーの極めて長いスピンドラ緩和時間と1パーセント程度の高いスピンドラ-電流変換効率が共存していることが初めて見出された。スピンドラ軌道相互作用が極めて弱い系における顕著なスピンドラ-電流変換の発見は、スピンドラ軌道相互作用の強い物質の探索により変換効率の向上を目指してきたスピントロニクスの常識を覆すものであり、スピンドラ軌道相互作用に依らないスピントロニクス機能開拓のルートが歴史上初めて明らかとなった。

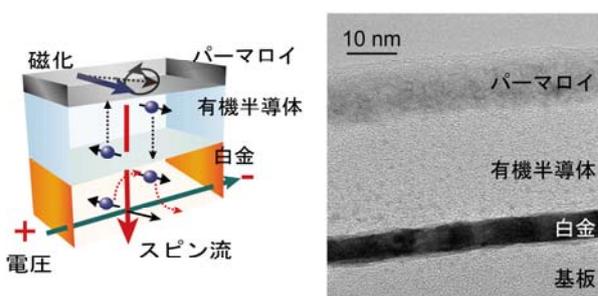


図5. 三層スピンドラ生成検出構造。

上記結果は金属・無機半導体と比較して数桁長い導電性高分子中のスピンドラ緩和時間を示しており、これまでの有機スピントロニクス研究の結果と整合する。しかしスピンドラ緩和のメカニズムに関しては、ハイパーファイン相互作用とスピンドラ軌道相互作用のどちらが支配的であるかこれまで未解明であった。この原因は導電性高分子へのスピンドラ注入がごく限られた条件でのみ可能であったためであり、本研究で

確立した動的スピンドラ生成手法を用いることで初めて系統的スピンドラ伝導測定が可能となった。そこで、有機材料中のスピンドラ緩和機構という本質的問題に答えを出すため、本研究では強磁性金属/導電性高分子/非磁性金属からなる三層スピンドラ生成・検出構造を作製し、導電性高分子中のスピンドラ輸送を系統的且つ定量的に測定した。この結果、導電性高分子中のスピンドラ拡散長には温度依存性が殆どないことが見出された。拡散係数が強い温度依存性を示すことを考慮すると、この結果はスピンドラ緩和時間とホッピングサイトへのトラップ時間が比例関係にあることを示している。従って本結果はスピンドラ軌道相互作用によるホッピング時のスピンドラ反転が導電性高分子中のスピンドラ緩和を支配していることを示しており、移動度を低下させることで有機材料中のスピンドラ情報保持時間を劇的に長くすることが可能であることが初めて明らかとなった。この重要な性質はバンド伝導系材料と決定的に異なるものであり、導電性高分子を利用したスピントロニクスデバイスの設計に非常に重要な指針となることが期待される。

6. 研究発表等

<p>雑誌論文 計 17 件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計 17 件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. K. Ando, "Dynamical generation of spin currents," <i>Semiconductor Science and Technology</i> 29, 043002 (2014). 2. S. Watanabe, K. Ando, K. Kang, S. Mooser, Y. Vaynzof, H. Kurebayashi, E. Saitoh, and H. Sirringhaus, "Polaron Spin Current Transport in Organic Semiconductors," <i>Nature Physics</i> 10, 308 (2014). 3. H. Sakimura, T. Matsumoto, and K. Ando, "Spin rectification induced by dynamical Hanle effect," <i>Applied Physics Letters</i> 103, 132402 (2013). 4. Z. Qiu, K. Ando, K. Uchida, Y. Kajiwara, R. Takahashi, H. Nakayama, T. An, Y. Fujikawa, E. Saitoh, "Spin mixing conductance at a well-controlled platinum/yttrium iron garnet interface," <i>Applied Physics Letters</i>, 103, 092404 (2013). 5. K. Ando, S. Watanabe, S. Mooser, E. Saitoh, and H. Sirringhaus, "Solution-processed organic spin-charge converter," <i>Nature Materials</i> 12, 622 (2013). 6. R. Iguchi, K. Ando, Z. Qiu, T. An, E. Saitoh, and T. Sato, "Spin pumping by nonreciprocal spin waves under local excitation," <i>Applied Physics Letters</i> 102, 022406 (2013). 7. T. Tashiro, R. Takahashi, Y. Kajiwara, K. Ando, H. Nakayama, T. Yoshino, D. Kikuchi, E. Saitoh, "Thickness dependence of spin pumping at YIG/Pt interface," <i>Proc. SPIE</i> 8461, 846106_1-9 (2012). 8. K. Ando and E. Saitoh, "Spin pumping driven by bistable exchange spin waves," <i>Physical Review Letters</i> 109, 026602 (2012). 9. R. Iguchi, K. Ando, T. An, E. Saitoh, and T. Sato, "Evaluation of Nonlinear Effect in High Power Spin Pumping in Polycrystalline Bi-Substituted Yttrium Iron Garnet (Bi:YIG)/Pt Bilayer Structure," <i>IEEE Transactions on Magnetics</i> 48, 3051-3053 (2012). 10. H. Nakayama, K. Ando, K. Harii, T. Yoshino, R. Takahashi, Y. Kajiwara, K. Uchida, Y. Fujikawa, and E. Saitoh, "Geometry dependence on inverse spin Hall effect induced by spin pumping in Ni81Fe19/Pt films," <i>Physical Review B</i> 85, 144408 (2012). 11. Kazuya Ando and Eiji Saitoh, "Observation of the inverse spin Hall effect in silicon," <i>Nature Communications</i> 3, 629 (2012). 12. 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," <i>Journal of Applied Physics</i> 111, 07C307 (2012). 13. 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," <i>Applied Physics Express</i> 5, 023002 (2012). 14. 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," <i>Key Engineering Materials</i> 508, 347-352 (2012). 15. 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," <i>Applied Physics Letters</i> 100, 022402 (2012).
------------------------	--

	<p>16. K. Ando, T. An, and E. Saitoh, "Nonlinear spin pumping induced by parametric excitation," Applied Physics Letters 99, 092510 (2011).</p> <p>17. K. Ando, S. Takahash, 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> <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 23 件</p>	<p>専門家向け 計 23 件 国際会議招待講演</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. K. Ando, "Solution-processed organic spin-charge converter," Magnetics and Optics Research International Symposium (MORIS 2013), December 2-5, 2013, Ohmiya, Japan. 2. K. Ando, "Spin-charge conversion in solution-processed conducting polymer," Physics and Applications of Spin-related Phenomena in Semiconductors (PASPS) 18, December 9-10, 2013., Osaka, Japan. 3. K. Ando, "Dynamical spin injection from metals and insulators," Jaszowiec conference 2013, June 27, 2013, Wisła, Poland. 4. K. Ando, "Spin current coupled with magnetization dynamics," Keio-TU Munich join seminar on nanospintronics, May 26, 2013, Yokohama, Japan. 5. K. Ando, "Generation of spin currents from magnetization dynamics," 12th Joint MMM-Intermag Conference, January14-18, 2013, Chicago, USA. 6. K. Ando, "Dynamical generation of spin currents," 2012 Workshop on Innovative Nanoscale Devices and Systems, December 2-7, 2012, Hawaii, USA. 7. K. Ando, "Dynamical generation of spin currents," International Conference of the Asian Union of Magnetics Societies (ICAUMS) 2012, October 2-5, 2012, Nara, Japan. 8. K. Ando, "Spin injection into semiconductors using magnetization dynamics," SPIE, August 12, 2012, San Diego, USA. 9. K. Ando, "Dynamical generation of spin currents in semiconductors," Physics and Applications of Spin-related Phenomena in Semiconductors (PASPS) 7, August 7, 2012, Eindhoven, Netherlands. 10. K. Ando, "Spin current coupled with magnetization dynamics," International Conference on Superlattices, Nanostructures, and Nanodevices, July 26, 2012, Dresden, Germany. 11. K. Ando, "Generation of spin currents from magnetization dynamics," CMOS Emerging Technologies, July 20, 2012, Vancouver, Canada. 12. K. Ando, "Dynamical generation of spin currents," ASPIMATT: Advanced spintronic materials and transport phenomena, July 4-6, 2012, Sendai, Japan. 13. K. Ando, "Dynamical spin injection into semiconductors," International Workshop for Group-IV Spintronics, January 20, 2012, Osaka, Japan. <p>国内会議招待講演</p>

	<ol style="list-style-type: none"> 1. 安藤和也, “半導体へのスピン注入,” スピントロニクス特別研究会 2013, 2013年10月18日, 仙台. 2. 安藤和也, “Dynamical generation of spin currents,” 大阪大学基礎工学セミナー, 2012年10月5日, 大阪大学. 3. 安藤和也, 「磁化ダイナミクスを用いたスピン流生成」, デイラック電子とスピントロニクス, 2011年12月3日, 東邦大学. 4. 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. 5. 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 and E. Saitoh, “Dynamical spin injection into semiconductors,” Intermag 2012, May 7-11, 2012, Vancouver, Canada. 2. 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. 3. K. Ando, Y. Kajiwara, and E. Saitoh, “Generation of spin current from metal and insulator,” Spintech6, August 1-5, 2011, Matsue, Japan. 4. 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>
<p>図書 計2件</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. K. Ando and E. Saitoh, “Incoherent spin current” (Chapter 2), “Exchange spin current” (Chapter 3), “Experimental observation of the spin Hall effect using spin dynamics” (Chapter 15), in “Spin Current” edited by S. Maekawa, E. Saitoh, S. O. Valenzuela, and T. Kimura (Oxford University Press, 2012), 総ページ数 442 ページ. 2. 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>産業財産権 出願・取得 状況</p> <p>計 1 件</p>	<p>(取得済み) 計 0 件</p> <p>(出願中) 計 1 件</p> <p>特許出願番号: 2012-231849, 発明者: 安藤和也, 齊藤英治, 権利者: 国立大学法人東北大学, 特許名称: スピントロニクスデバイス, 出願年月日: 2012 年 10 月 19 日, 国内</p>
<p>Webページ (URL)</p>	<p>http://www.ando.appi.keio.ac.jp/ (慶應義塾大学理工学部安藤研究室 Research)</p>
<p>国民との科 学・技術対 話の実施状 況</p>	<p>ホームページでの情報公開(更新回数 10 回)及び最新研究成果講演内容の Youtube へアップロード(http://www.youtube.com/watch?v=sw2niK4WNEA) (1 件)を行った。研究成果に関する動画はこれまでに 300 回程度再生されている。講演を一度行うのに対し、長期的な情報公開ができると考えられる。国民との科学・技術対話の実施は研究者に任されており、一般講演の機会がなかったため研究成果がいつでも確認できるようインターネット上での広報を行った。</p>
<p>新聞・一般 雑誌等掲載 計 23 件</p>	<p>新聞・web 記事</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 2014 年 3 月 19 日: 日刊工業新聞(web)「慶大、導電性高分子にスピン流を作ることに成功—安価なプラスチック製」 2. 2014 年 3 月 18 日: 環境ビジネスオンライン(web)「慶応大、電気を流すプラスチック中での磁気の流れを解明」 3. 2014 年 3 月 19 日: マイナビニュース(web)「慶応大、導電性高分子中でスピン流を作り出すことに室温で成功」 4. 2014 年 3 月 19 日: 日刊工業新聞 27 面「導電性高分子にスピン流」 5. 2014 年 3 月 17 日: 化学工業日報 6 面「スピン流の性質解明 慶応大、導電性高分子中で作製 省エネデバイス開発に道」 6. 2014 年 3 月 16 日: Nature Physics, News and Views (doi:10.1038/nphys2928) "Organic spintronics: Pumping spins through polymers" Bert Koopmans. 7. 2013 年 7 月 5 日: 電波新聞 3 面「第 26 回安藤博記念学術奨励賞 安藤和也・慶應義塾大専任講師ら 5 人を表彰」 8. 2013 年 5 月 8 日: 日経産業新聞 7 面「磁気を電気に変換、東北大・慶大、導電性プラ系素材」 9. 2012 年 3 月 12 日: MRS Bulletin (37, 186 (2012)) "Inverse spin Hall effect observed in silicon" Steven Spurgeon. 10. 2012 年 2 月 3 日: 科学新聞 4 面「東北大金研 相対論的効果を利用 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—」 11. 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、相対論的効果により Si 中の磁気の流れの電気信号への変換に成功」 12. 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」—」 13. 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—」

	<p>14. 2011年9月5日: NPG Asia Materials “ Spintronics: Pumped injection ” (doi:10.1038/asiamat.2011.132).</p> <p>15. 2011年8月23日: Nature Materials, News and Views (10, 647-648 (2011)) “ Spintronics: Taming spin currents ” I. Žutić and Hanan Dery.</p> <p>16. 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」</p> <p>17. 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」</p> <p>18. 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」</p> <p>19. 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」</p> <p>20. 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> <p>21. 独立行政法人科学技術振興機構 サイエンスニュース(科学技術政策ニュース), 若手・女性・地域の研究者の支援 「最先端・次世代研究開発支援プログラム」 出演, 2011年3月25日.</p> <p>一般雑誌掲載</p> <p>1. 安藤和也, 「有機スピナー電荷変換素子」, 工業材料 62, 34-35 (2013).</p> <p>2. 安藤和也, 「スピントロニクスと材料」, 工業材料 60, 50-51 (2012) (24年度実施状況報告書未記載分)</p>
<p>その他</p>	<p>1. 若手科学者賞 (文部科学省) 2012年4月9日.</p> <p>2. 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.</p> <p>3. 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.</p>

7. その他特記事項

受賞: 安藤博記念学術奨励賞(財団法人安藤研究所)2013年6月29日.