

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24740217

研究課題名(和文) 超伝導を用いたスピン流の制御と検出

研究課題名(英文) Detection and manipulation of spin current using superconductors

研究代表者

新見 康洋 (NIIMI, Yasuhiro)

東京大学・物性研究所・助教

研究者番号：00574617

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：スピンホール効果は、電流からスピン流もしくはその逆変換を可能にする手段としてスピントロニクス研究で幅広く利用されており、この変換効率を表すスピンホール角を増強することは重要な課題の一つである。本研究では、スピン軌道相互作用の弱い銅にビスマスを添加した合金のスピンホール角をスピン吸収法で算出したところ、白金のそれよりも1桁大きくなることが分かった。またスピン拡散長を算出する新たな手法として弱反局在効果に着目し、実際にスピン吸収法で得られる値と定量的に一致することを示した。さらに超伝導体ニオブを用いたスピン輸送測定も行い、超伝導転移温度以下でスピン緩和時間が長くなることを実験的に明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The spin Hall effect, which enables to convert charge current into spin current or vice versa, has been widely utilized in the field of spintronics. One of the important tasks in this field is to enhance the spin Hall angle that is the conversion rate between charge and spin currents. In this work, we have studied the spin Hall effect of Bi-doped copper by means of the spin absorption method and found that the spin Hall angle of CuBi alloys is 10 times larger than that of Pt, which is the standard spin Hall material. In order to estimate the spin diffusion length of nonmagnetic materials, we have developed a new method, i.e., weak antilocalization and found that the estimated spin diffusion length from weak antilocalization is quantitatively consistent with that from the spin absorption method. We have also studied the spin transport of superconducting Nb. It has turned out that the spin relaxation time of superconducting Nb is enhanced by a factor of 4, compared to that of normal Nb.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性II・磁性

キーワード：スピントロニクス スピン流 スピンホール効果 弱反局在 メソスコピック系 強磁性体 超伝導体

1. 研究開始当初の背景

スピントロニクス研究の根幹を担うのは、スピン角運動量の流れである「スピン流」である。特に電荷の流れを伴わないスピン角運動量のみ流れは「純スピン流」と呼ばれ、次世代の超低消費電力素子への応用が期待されるため、純スピン流を効率良く生成、もしくは検出することは、スピントロニクス分野で最も重要な課題の1つである。

純スピン流を生成、検出する手法の1つにスピンホール効果がある。例えば、熱の勾配をスピン流に変換するスピントロニクス効果の検出にはスピンホール効果が用いられている。また本研究課題開始直後には、スピンホール効果を利用した微小磁化反転も実現しており、スピンホール効果を利用したスピン流の生成、検出が実際に役に立つ形で使用されるようになってきた。

その一方で、純スピン流の生成、検出効率を表すスピンホール角と呼ばれる物理量の定量的な算出に関しては、研究開始当初から現在に至るまでスピントロニクスの分野で激しい論争が続いている。特にスピントロニクス分野で標準的な物質である白金 Pt のスピンホール角でさえ、統一的な見解は得られていない。

従って、スピンホール角をできるだけ大きくするという研究開始当初の目的だけでなく、スピンホール角を定量的に正しく算出する方法を確立するというもう1つの課題も生じてきた。

2. 研究の目的

上記の研究背景を受けて、まず本研究ではさらに大きなスピンホール角を得るために、研究活動スタート支援「スピンホール効果のメカニズムの探索 (課題番号: 22840012)」で行った研究と同様に、スピン軌道相互作用の弱い銅 Cu にスピン軌道相互作用の強い不純物を添加して発現する外因性スピンホール効果に着目した。Pt などの単体遷移金属で発現するスピンホール効果は内因性であるため、スピンホール角を変調することは難しいが、外因性スピンホール効果であれば、母体と不純物の組み合わせを変えることで、スピンホール角を変調し得る。

「スピンホール効果のメカニズムの探索 (課題番号: 22840012)」では Cu にイリジウム Ir を添加した CuIr 合金を用いて、スピンホール角が Pt と同程度にまで増大することを報告したが、本研究課題では Ir よりスピン軌道相互作用のさらに大きなビスマス Bi を添加し、スピンホール角の増強を目的として実験を行った。

さらなるスピンホール効果の変調方法として、近年挽野・柚木によって理論的に提唱された [S. Hikino and S. Yunoki, Phys. Rev. B **84**, 020512(R) (2011).]、超伝導体を用い

たスピンホール角の増幅という課題にも挑戦した。絶縁体を介して超伝導体とスピン軌道相互作用の強い非磁性体にバイアス電圧を印加すると、超伝導ギャップエネルギーに対応する電圧で、スピンホール効果が 10 倍程度増幅されるという理論の検証を行った。

上述したように、比較的成膜の容易な単体遷移金属である Pt やタンタル Ta のスピンホール角の定量的な値については、スピントロニクス分野で激しい論争が繰り広げられている。本研究では、スピン軌道相互作用の強い非磁性体にスピン流を吸収させることで、逆スピンホール効果を介してスピン流とスピンの向きに直交する方向に電圧が生じる、スピン吸収法と呼ばれる手法を用いている (図 1 参照)。

一方で、スピントロニクス分野で近年主に用いられているスピンポンピング法やスピントルク強磁性共鳴法で得られる Pt や Ta のスピンホール角及びスピン拡散長は、スピン吸収法で得られる値と大きく異なっている。この事実をコーネル大のグループが問題視して L. Liu *et al.*, arXiv:1111.3702 を掲載し、大きな話題となった。その記事の中で彼らは、スピン吸収法で得られるスピン拡散長の過大評価がスピンホール角の過小評価につながっていると主張している。スピン吸収法で得られるスピンホール角やスピン拡散長が正しいことを証明するために、全く別の手法で同様の値を得ることが喫緊の課題となった。

そこで当初の研究計画を少し変更し、弱反局在法を用いたスピン拡散長の算出を行った。後述するように、弱反局在法で得られるスピン軌道長とスピン拡散長には比例関係があるため、全く異なる手法で同じスピン拡散長が得られれば、スピン吸収法で得られるスピンホール角も正しいことが主張できる。

さらに、超伝導体ニオブ Nb を用いたスピン輸送測定も行った。s 波超伝導体中では、スピンアップの電子とスピンドアウンの電子はクーパー対を形成し、スピン 1 重項状態が基底状態であるため、スピン角運動量の流れであるスピン流とは相容れない。従って、スピン流が超伝導体中で存在するためには、必ず準粒子状態である必要がある。この時、準粒子の超伝導体内部を移動する速度が有効的に遅くなることに起因して、超伝導転移温度以下ではスピン緩和時間が常伝導状態に比べて長くなることが予想されていた [T. Yamashita *et al.*, Phys. Rev. B **67**, 094515 (2003).]。しかしこれまでの実験では、素子構造が最適化されておらず、緩和時間が常伝導状態に比べて極端に長くなるという報告や短くなるという報告など主張が大きく異なり、統一的な見解が得られていなかった。そこでスピン吸収法を用いて、スピン軌道相互作用の強い Nb を超伝導転移温度以下に下げて、超伝導状態でのスピン緩和時間の定量的な算出を行った。

3. 研究の方法

(1) CuBi 合金を用いた外因性スピンホール効果と超伝導体を用いたスピンホール効果の変調

CuBi 合金の外因性スピンホール効果の測定は、図 1 にあるような非局所スピン吸収法及び逆スピンホール効果を用いて行った。2本の $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ (以後 Py と呼ぶ) 細線とその間に $\text{Cu}_{100-x}\text{Bi}_x$ 細線を並べ、それら 3 本の細線を Cu 線で橋渡しする。電流を Py1 から Cu に流すことでスピン流を Cu 細線内に発生させる。このとき Cu 細線内に流れるスピン流は電荷の移動を伴っていないので、純スピン流が流れている。この純スピン流はスピン軌道相互作用の強い CuBi 細線内に吸収され、Bi 不純物のスピン軌道相互作用によって、スピンアップ・ダウン共に同じ側に蓄積し、電圧として測定される。また CuBi 細線がある場合とない場合とで、Py2 細線におけるスピン蓄積量を測定することにより、実際 CuBi 細線にどれだけのスピン流が吸収されたかを正確に見積もることができる。またその吸収量からスピン拡散長の見積もりも可能となる。

スピンホール角及びスピン拡散長の算出には、Takahashi-Maekawa によって提唱された 1 次元スピン伝導モデルと、Valet-Fert 方程式を 3 次元に拡張した 3 次元スピン伝導モデルの 2 つの手法を用いた(発表論文(1), (7) 参照)。

また絶縁体 Al_2O_3 を挟んで CuBi 細線上に Nb を蒸着し、Nb の超伝導転移温度よりも十分低温の 0.4 K まで温度を下げて、バイアス電圧を印加し、スピンホール効果を変調する実験も同様の素子構造で行った。

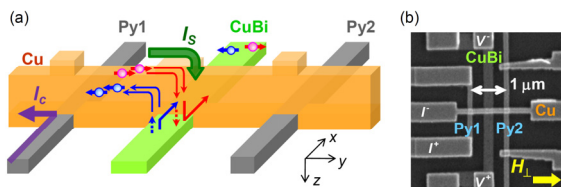


図 1. (a) スピンホール素子の概念図と (b) 電子顕微鏡像。

(2) 弱反局在を用いたスピン拡散長の算出

上記のスピン吸収法で得られたスピン拡散長が定量的に正しいことを証明するためには、全く異なる別の実験からスピン拡散長を算出し、それらが一致することを主張する必要がある。特にスピントロニクス研究で標準的な物質である Pt のスピン拡散長は 10 nm ~ 1 nm と実験手法によって値が 1 桁も異なるため、全く新しい手法から判断することが最も適切である。

そこで弱反局在法によるスピン軌道長の測定を行った。図 2 に示すように調べたい非磁性体の 1 次元細線を作製し、垂直磁場を印加して磁気抵抗を測定した。得られた磁気抵抗曲線を、Hikami-Larkin-Nagaoka (HLN) が提

唱した式を用いて解析することで、スピン軌道長を算出できる。さらに、スピン軌道長がスピン拡散長とほぼ等価であることを示すために、図 1 に示すスピンホール素子も作製し、スピン吸収法からスピン拡散長を算出して、2 つの値を比較した(発表論文(4) 参照)。

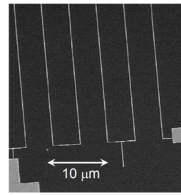


図 2 : 弱反局在測定に用いた Pt 細線の電子顕微鏡像。

(3) 超伝導 Nb におけるスピン輸送測定

図 1 と同様の素子構造で CuBi 部分を Nb に変えて、スピン蓄積信号を測定する(図 3)。Nb の超伝導転移温度 5.5 K 以上と以下で、スピン蓄積信号がどのように変化するかを観測した。また Nb 細線のない参照信号との比較から、常伝導及び超伝導状態でのスピン緩和時間を算出した(発表論文(6) 参照)。

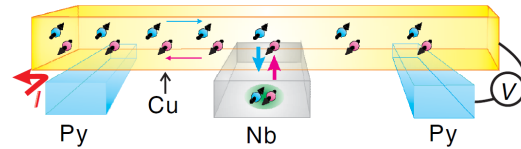


図 3 : 超伝導 Nb へのスピン流注入の概念図。

4. 研究成果

(1) CuBi 合金を用いた外因性スピンホール効果と超伝導体を用いたスピンホール効果の変調

図 1 に示したスピンホール素子を用いて得られた $\text{Cu}_{99.5}\text{Bi}_{0.5}$ の逆スピンホール抵抗 R_{ISHE} (ホール電圧を Py に注入した電流 I_c で割ったもの) の結果を図 4(a) に示す。比較のため、Pt, $\text{Cu}_{99}\text{Ir}_1$ 、そして Cu で得られた R_{ISHE} も示す。外部磁場は Py の困難軸方向 (H_{\perp}) に印加している。わずか Bi を 0.5% 添加しただけで、同程度の抵抗率をもつ Pt や CuIr 合金よりも大きな信号が得られた。

次に CuBi 合金のスピン拡散長を算出するために、非局所スピンバルブ測定を行った。この時、外部磁場は Py の容易軸方向 (H_{\parallel}) に印加している。図 4(b) に示すように CuBi 合金を挿入しない場合に比べて、挿入するとスピン蓄積信号が減少していることが分かる。

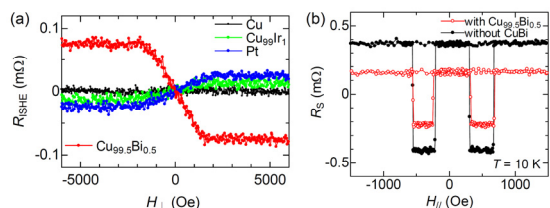


図 4 : (a) $\text{Cu}_{99.5}\text{Bi}_{0.5}$ 、Pt、 $\text{Cu}_{99}\text{Ir}_1$ 、Cu の逆スピンホール抵抗 R_{ISHE} (b) $\text{Cu}_{99.5}\text{Bi}_{0.5}$ を挿入した場合と挿入しない場合のスピン蓄積信号 R_S 。測定は 10 K で行った。

これらのデータを基に、CuBi 合金のスピ
ン拡散長とスピホール角を算出する。図 5(a)
に 1 次元モデルと 3 次元モデルで計算され
た CuBi 合金のスピ拡散長を示す。Bi 濃度
が 3%以上になると両者の違いは小さいが、
特に Bi 濃度が 0.5%以下の領域では、3
次元モデルで得られたスピ拡散長の方が
長くなった。さらに 1 次元モデルと 3
次元モデルで計算された CuBi 合金の
スピホール抵抗率 ρ_{SHE} を図 5(b) に示
す。Bi0.5%までは、 ρ_{SHE} は不純物抵
抗率 ρ_{imp} に線形に増加し、この傾きから
スピホール角を算出することができる。そ
の結果、3 次元モデルを用いるとスピ
ホール角は -0.24 となり、Pt や CuIr 合
金の 0.02 よりも 1 桁大きな値が得られ
た。また 1 次元計算でも -0.12 となっ
たが、3 次元モデルから得られた値と
比べると倍ほど異なる。この理由は後
述する。また Bi1%以上では、 ρ_{SHE}
の飽和する振舞いが観測された。これは
図 5(b) の挿入図にあるように、Bi の
偏析が生じているため、実際に ρ_{imp} が
Bi 添加濃度に線形に増加しなくなっ
ている。

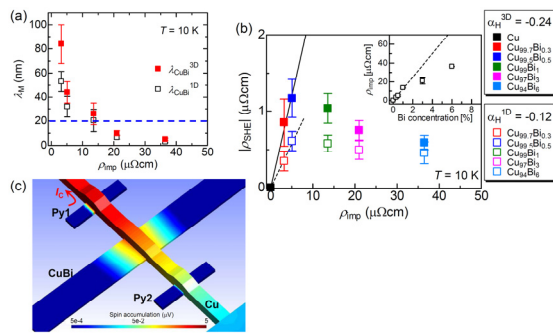


図 5 : (a) 1 次元及び 3 次元モデルで算出され
た CuBi 合金のスピ拡散長と (b) スピ
ホール抵抗率 ρ_{SHE} 。スピホール角 α_{H} は ρ_{SHE} を
Bi 添加によって増加した抵抗率 ρ_{imp} で割
った値で定義されている。(c) 3 次元モ
デルで計算された $\text{Cu}_{99.5}\text{Bi}_{0.5}$ スピ
ホール素子のスピ蓄積分布図。

次になぜ CuBi 合金で 1 次元モデルと 3
次元モデルでスピ拡散長やスピホール角
が異なるかを説明する。実は、このよう
な違いは Pt や CuIr 合金では現れてい
ない。CuBi 合金の場合、Bi は Cu に
僅かしか固溶しないため、1%以上で
析出が始まる。Bi 添加量がわずか
であるため、スピ拡散長が Pt や CuIr
に比べて比較的長い。本研究では、
CuBi、Pt、CuIr 合金の膜厚は 20 nm
で一定にしているが、スピ拡散長が
膜厚よりも長い場合には、図 5(c) に
示したように、スピ流が CuBi 細線
に効率良く吸収されず、横方向にし
み出してしまふ。この横方向へのし
み出しが、1 次元モデルでは考慮さ
れておらず、スピ拡散長やスピ
ホール角の過小評価につながった。
一方で、Pt や CuIr 合金などスピ
拡散長が膜厚よりも短い系に対して
は、スピ流は理想的に Pt や CuIr 合
金に吸収され、横方向へ

のしみ出し効果がほとんどないため、
1 次元モデルでも定量的にスピホール
角やスピ拡散長を評価できることも
分かった。

さらに、スピホール効果を増強する
ために、絶縁体 Al_2O_3 を挟んで CuBi
細線上に超伝導体 Nb を蒸着させ、
バイアス電圧を印加しながら、逆
スピホール効果を測定したが、理論
で予測されているような信号の増
幅は観測されなかった。この理由の
1 つとして、理論では 1 μm 程度
のスピ拡散長を仮定しているの
に対し、 $\text{Cu}_{99.5}\text{Bi}_{0.5}$ のスピ拡散長
は高々 50 nm 程度だったことが
挙げられる。

(2) 弱反局在を用いたスピ拡散長の算出

スピ吸収法で得られたデータを 3
次元モデルで解析することで、定
量的にスピ拡散長が得られること
は分かったが、さらにこの値が正
しいことを証明するために、非磁
性体の弱反局在曲線を測定し、
HLN 式を用いてスピ軌道長を求
めた。

図 6 に Pt と $\text{Cu}_{99.5}\text{Bi}_{0.5}$ 細線
で測定された弱反局在曲線を示す。
弱反局在に典型的な下に凸の曲線
が得られている。この曲線を HLN
式でフィッティングすることで、
スピ軌道長 L_{SO} を求めることが
できる。その結果、Pt と $\text{Cu}_{99.5}\text{Bi}_{0.5}$
の L_{SO} はそれぞれ 12 nm と 41 nm
となった。

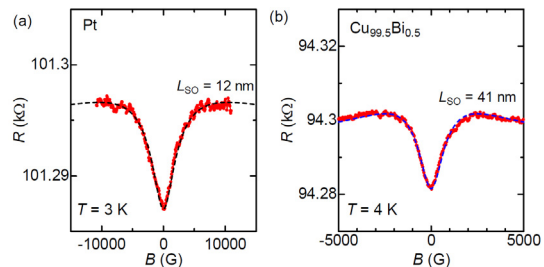


図 6 : (a) Pt と (b) $\text{Cu}_{99.5}\text{Bi}_{0.5}$ の弱反
局在曲線。測定はそれぞれ 3 K と 4
K で行った。点線は HLN 式を用い
て得られたフィッティング曲線。

ここで問題は弱反局在から得られ
た L_{SO} がスピ拡散長 L_s とどの
ような関係にあるかで、これまで
実験的には検証されてこなかった。
理論的には理想フェルミガス
のようにフェルミ面が球体の
場合でのみ計算されており
[I. Zutic *et al.*, Rev. Mod. Phys. **76**,
323 (2004).]、図 7 に示すように
 L_s と L_{SO} はほとんど等価である
が、 $\sqrt{3}/2 = 0.87$ 倍異なる。

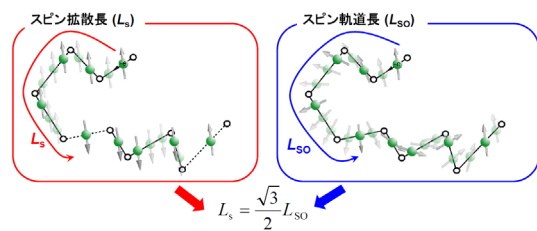


図 7 : スピ拡散長 L_s とスピ軌道長 L_{SO}
の関係。

実際にこの関係式を用いて L_{S0} から Pt と $\text{Cu}_{99.5}\text{Bi}_{0.5}$ のスピン拡散長を算出したところ、それぞれ 10 nm、36 nm となり、スピン吸収法から求めた値とも定量的に一致することが分かった。この事実は、スピン吸収法で得られるスピン拡散長、さらにはスピンホール角が正しいことを証明していると言える。

(3) 超伝導 Nb におけるスピン輸送測定

最後に、これまで CuBi、Pt、CuIr を挿入していた箇所に、5.5 K で超伝導転移を示す Nb を挿入して、最低温度 0.4 K でスピン蓄積信号を測定した。その結果、Py に流す電流 I を減少させると、スピン蓄積信号が増大した。この結果を説明するために、まず I によって電子温度が上昇しているか調べた。Nb が超伝導転移すると、Cu/Nb の界面抵抗に電荷不均衡によるピークが観測されるが、界面抵抗の温度依存性と I 依存性を比べることで、実際に I の増大によって電子温度が上昇していることが分かった。さらに、Nb と Cu 界面はオーミック接合しているため、近接効果が生じ、Nb 側の状態密度が図 8 の挿入図に示すように、理想的な超伝導ギャップに比べてぼやけ、フェルミエネルギーに状態を持っていることが分かる。このような近接効果の位置依存性を取り入れるために、Usadel 方程式を解き、その方程式の中にあるスピン緩和時間 τ_{sf} をフィッティングパラメータとして実験データを再現するような解析を行い、得られた τ_{sf} を I の関数でプロットすると、図 8 に示すように I の値、つまり電子温度を下げるとともに τ_{sf} が常伝導状態に比べて 4 倍以上増大することが分かった。この結果は、理論で予測された結果とも一致し、初めて超伝導体中でのスピン緩和時間を定量的に議論した結果と言える。

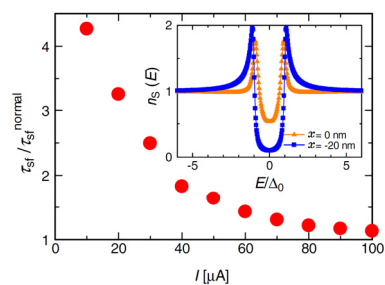


図 8：超伝導体中のスピン緩和時間 τ_{sf} 。縦軸は常伝導における緩和時間の値 $\tau_{sf}^{\text{normal}}$ で規格化されている。挿入図は近接効果を取り入れた状態密度 $n_s(E)$ 。 x 、 Δ_0 はそれぞれ Cu/Nb 界面からの距離、Nb の超伝導ギャップエネルギーを表す。

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 9 件)

(1) A. Ganguly, K. Kondou, H. Sukegawa, S.

Mitani, S. Kasai, Y. Niimi, Y. Otani, and A. Barman, “Thickness dependence of spin torque ferromagnetic resonance in $\text{Co}_{75}\text{Fe}_{25}/\text{Pt}$ bilayer films”, *Applied Physics Letters* **104**, 072405-1~5 (2014). 査読有。

DOI: 10.1063/1.4865425

(2) S. Sugimoto, N. Hasegawa, Y. Niimi, Y. Fukuma, S. Kasai, and Y. Otani, “Detection of a symmetric circular gyration of the vortex core via the second-order harmonic magnetoresistance oscillation”, *Applied Physics Express* **7**, 023006-1~4 (2014). 査読有。

DOI: 10.7567/APEX.7.023006

(3) Y. Niimi, H. Suzuki, Y. Kawanishi, Y. Omori, T. Valet, A. Fert, and Y. Otani, “Extrinsic spin Hall effects measured with lateral spin valve structures”, *Physical Review B* **89**, 054401-1~5 (2014). 査読有。

DOI: 10.1103/PhysRevB.89.054401

(4) T. Wakamura, N. Hasegawa, K. Ohnishi, Y. Niimi, and Y. Otani, “Spin injection into a superconductor with strong spin-orbit coupling”, *Physical Review Letters* **112**, 036602-1~5 (2014). 査読有。

DOI: 10.1103/PhysRevLett.112.036602

(5) K. Fujiwara, Y. Fukuma, J. Matsuno, H. Idzuchi, Y. Niimi, Y. Otani, and H. Takagi, “5d iridium oxide as a material for spin-current detection”, *Nature Communications* **4**, 2893-1~6 (2013). 査読有。

DOI: 10.1038/ncomms3893

(6) Y. Niimi, D. H. Wei, H. Idzuchi, T. Wakamura, T. Kato, and Y. Otani, “Experimental Verification of Comparability between Spin-Orbit and Spin-Diffusion Lengths”, *Physical Review Letters* **110**, 016805-1~5 (2013). 査読有。

DOI: 10.1103/PhysRevLett.110.016805

(7) M. Gradhand, D. V. Fedorov, P. Zahn, I. Mertig, Y. Otani, Y. Niimi, L. Vila, and A. Fert, “Perfect alloys for spin Hall current-induced magnetization switching”, *SPIN* **2**, 1250010-1~8 (2012). 査読有。

DOI: 10.1142/S2010324712500105

(8) D. H. Wei, Y. Niimi, B. Gu, T. Ziman, S. Maekawa, and Y. Otani, “The spin Hall effect as a probe of nonlinear spin fluctuations”, *Nature Communications* **3**,

1058-1~5 (2012). 査読有。
DOI: 10.1038/ncomms2063

(9) Y. Niimi, Y. Kawanishi, D. H. Wei, C. Deranlot, H. X. Yang, M. Chshiev, T. Valet, A. Fert, and Y. Otani, “Giant Spin Hall Effect Induced by Skew Scattering from Bismuth Impurities inside Thin Film CuBi Alloys”, *Physical Review Letters* **109**, 156602-1~5 (2012). 査読有。
DOI: 10.1103/PhysRevLett.109.156602

[学会発表] (計 12 件)

(1) 新見 康洋、「外因性スピンホール効果とスピン緩和機構の研究 (招待講演)」、日本物理学会 (第 69 回年次大会)、東海大学 (2014/3/27).

(2) 新見 康洋、「弱反局在で観るスピン拡散現象 (招待講演)」、第 61 回応用物理学会春季学術講演会、青山学院大学 (2014/3/18).

(3) Y. Niimi, “Giant spin Hall effect induced by skew scattering from large SO impurities in copper (招待講演)”, *International Japanese-French Workshop on Spintronics*, Orsay, France (2013/11/28).

(4) Y. Niimi, “A Novel method to verify spin diffusion length”, *58th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM)*, Denver, USA (2013/11/6).

(5) 新見 康洋、「面内スピンバルブ構造を用いたスピンホール効果の測定と 3 次元解析」、日本物理学会 (秋季大会)、徳島大学 (2013/9/26).

(6) Y. Niimi, “Giant spin Hall effect induced by skew scattering on large SO impurities in copper (招待講演)”, *SPIE NanoScience + Engineering*, San Diego, USA (2013/8/28).

(7) Y. Niimi, “Detection of non-linear spin fluctuations via inverse spin Hall effect”, *The 8th International Symposium on Metallic Multilayers (MML2013)*, Kyoto, Japan (2013/5/22).

(8) 新見 康洋、「逆スピンホール効果を用いた高次磁化率の測定」、日本物理学会 (第 68 回年次大会)、広島大学 (2013/3/27).

(9) Y. Niimi, “Giant spin Hall effect induced by skew scattering on high SO impurities in copper (招待講演)”, *The 12th Joint MMM/Intermag Conference*, Chicago, USA (2013/1/15).

(10) Y. Niimi, “Giant spin Hall effect induced by skew scattering on Bi impurities in Cu”, *International Conference of the Asian Union of Magnetism Societies (ICAUMS)*, Nara, Japan (2012/10/5).

(11) Y. Niimi, “Giant spin Hall effect induced by skew scattering on bismuth impurities in copper (招待講演)”, *The 21st International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (ICMFS)*, Shanghai, China (2012/9/24).

(12) 新見 康洋、「弱局在効果を用いたスピン拡散長の決定」、日本物理学会 (秋季大会)、横浜国立大学 (2012/9/20).

[その他]

ホームページ等

<http://www.riken.jp/lab-www/nanomag/indexjpn.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

新見 康洋 (NIIMI YASUHIRO)
東京大学・物性研究所・助教
研究者番号: 00574617

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし