



Newsletter #3

ナノスピンの変換科学

Nano Spin Conversion Science

Contents

目次	1
巻頭言 東北大学名誉教授 宮崎照宣	2
研究最前線	
大谷研究室（東京大学、A01）	3
Jansenグループ（産業技術総合研究所、A01）	5
白石研究室（京都大学、A02）	7
浜屋研究室（大阪大学、A02）	11
大岩研究室（大阪大学、A03）	13
佐藤研究室（九州大学、A03）	15
齊藤研究室（東北大学、A04）	17
前川グループ（日本原子力研究開発機構、A05）	19
領域ニュース	
平成27年度ナノスピントリニ変換科学年次報告会開催	23
ナノスピントリニ変換科学関西若手ワークショップ	23
International workshop on novel photo induced phenomena and applications	24
9th International Conference on Physics and Applications of Spin-Related Phenomena in Solids	24
第10回物性科学領域横断研究会	24
International workshop on nano-spin conversion science & quantum spin dynamics	25
International School on Spintronics and Spin Orbitronicsと Korea-Japan Spin-Orbit Workshop 2016	26
班内研究会報告	26
領域若手研究者紹介	27
物性科学未踏開拓支援制度報告	28
前川先生 古希のお祝い	28
受賞	29
領域からの連絡	30
編集後記	30

巻頭言

「研究領域・研究テーマ」

将来が無いので過去のこと、それも個人的な経験（感想）になってしまうことをあらかじめご了承ください。

大学院重点化（1994年、平成6年）の数年前そのための書類を準備していた頃の話である。それまで学部が主で大学院が従であった大学の教官を逆に大学院が主で学部を従に換えるもので、具体的な作業として従来の小講座制を廃止し、いくつかの大講座制にすることであった。その一つとして、応用界面物理学講座を提案し、周りの教授に受け入れてもらった。なぜそのように考えたかは定かでないが、このニュースレター2号で新庄先生が1970年頃から界面磁性の研究を始めたとおっしゃっているので、それらの成果を勉強し、このような名を提案したものと思われる。その後講座の中でスピントロニクス分野を名のった。研究の中身は数年前から始めたGMR,TMRに加えて従来磁気の本流と考えられていたソフト、ハードの磁性に関するものも加えていた。ただ、将来何か新しいもの（領域）ができないかと期待して、無機/有機ハイブリッドに関する研究も始めた。なにせ、当時新しいスタッフの参加、元気の良い学生の加入等もあり、研究テーマを考えるのが楽しかったと記憶している。

2007年3月に定年退職し、10月より新しく発足した東北大学のWPI(World Premier International Research Center)で再び研究を開始した。スタッフ、実験装置ゼロからの出発であったため、研究テーマをMRAM(Magnetoresistive Random Access Memory)材料の開発に絞リスタートし、スタッフの加入とともに無機/有機ハイブリッドのテーマも加えた。企業との共同研究のおかげで2014年に退職するまでには東北大学がWPI申請時に書類に記載した“材料研究を通じて社会貢献する”目的にMRAMの研究では少し近づけたと思っている。しかしながら残念なことに文部科学省下のWPIプログラム委員会と私個人との研究に対する考え方の大きな隔たりを感じ、後味の悪い気持ちを残したまま研究職を辞めることになった。その一部をたんに言うと、文科省は大学の法人化(2006年)の際、学問の自由を保証し、大学の自主性を尊重すると言ったにも拘わらず、“大学に税金を投入することを国民に説明する”ということをも盾にプログラム委員会を通じて、特定分野の強化、拙速な研究ロードマップの作成等の勧告をしているようにとれたからである。

40数年間研究生活を行ってきた過程で大学院重点化と大学の法人化と言う大きな制度改革に遭遇した。古い体質を改め運営の透明化等真に改革された点もあっただろうが、一方で大学にとって最も重要な研究の自由が損なわれつつあるのではないかと危惧している。

東北大学名誉教授

宮崎 照宣



研究最前線

領域の研究を支えるの皆様の研究活動や最新の成果を紹介します。

スピン運動量ロッキング現象を利用したスピン流・電流変換

東京大学物性研究所 ナノスケール物性研究部門

一色弘成、大谷義近

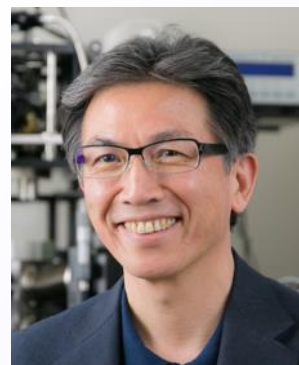
A01班

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

トポロジカル絶縁体/金属の界面や、ラシュバ効果を示す界面でのスピン変換現象に注目が集まっている。本研究室では、これら界面スピン変換の物理を様々な手法を用いて研究している。



助教 一色弘成



教授 大谷義近

はじめに

スピン軌道相互作用が大きい常磁性金属の内部では、伝導電子の散乱はスピンに依存するため、電流から純スピン流が生成される。これはスピンホール効果と呼ばれるスピン流・電流相互変換の一例であり、多様な物質についてその発現機構が議論されてきた。

トポロジカル絶縁体表面や、金属・半導体と様々な物質の界面では、その特異な対称性の破れに起因するスピン分裂した2次元的なバンド構造が現れる。これらの界面を舞台としたスピン変換現象が近年注目を集めている。しかし、界面のスピン変換はその微視的機構の理解や、変換効率を決定する因子の解明など様々な課題が残されている。本研究室では、スピンプンピング法、スピントルク-強磁性共鳴法、面内スピンバルブ構造のスピン吸収法などの多様な方法で、界面スピン変換の統一的な理解を目指し研究を行っている。

界面スピン変換の機構

界面スピン変換の一例として、ラシュバ分裂した界面で起こるスピン流・電流変換を説明する(図1)。ラシュバ分裂した界面のフェルミ面は2つのスピン分裂したフェルミ等高線で表される(図1左)。この界面に対して+y方向に偏極したスピン流を注入すると、外側のフェルミ面は+x方向に、内側のフェルミ面は-x方向に移動する(図1右)。やがて、界面に注入されるスピンと界面で生じるスピン緩和がバランスをとり、非平衡定常状態に達する。このときフェルミ面の、平衡状態からのずれが電流に寄与する。図1の場合は、外側のフェルミ面からの寄与がより大きいので、正味の電流は+x方向に流れる。この描像に従うと、スピン変換効率はラシュバ分裂の大きさを表すラシュバパラメータと、界面でのスピン緩和時間の積に比例することがわかる[1]。

■酸化ビスマス-金属界面のスピンの流-電流変換

大きなラッシュバ効果を示すBi-Cu界面やBi-Ag界面でのスピンの流-電流変換が報告されている[1,2]。しかし、半金属であるBiに少なからず電流が流れてしまうため、バルクで起こるスピンのホール効果と界面で起こるスピンの変換を完全に分離できているとはいいがたい。本研究では、界面スピンの変換だけを調べるために、Biの代わりに絶縁体であるBi₂O₃をもちいた。図2(a)に素子構造を示す。この素子では、スピンのポンピングにより界面に注入されたスピンの流は絶縁体であるBi₂O₃内部には侵入できないため、スピンの流-電流変換はすべて界面で生じると考えられる[3]。

直感的には、界面スピンの変換の効率はCuの膜厚に依存しないように思われる。しかし、実験結果を見るとスピンの変換効率は、明らかにCuの膜厚に依存している(図2(b))。Cu膜厚はCuの膜質、すなわちCu内での運動量の緩和時間に影響する。そして、スピンの緩和時間は運動量の緩和時間と相関を持つため、スピンの変換効率はCu膜厚に依存する。

■トポロジカル絶縁体-金属界面での電流-スピンの流変換

トポロジカル絶縁体表面のバンドでは、時間反転対称性のためにディラックコーンが形成され、電子の運動方向によってスピンの向きが決定される。これはスピンの運動量のロックと呼ばれる。理論的には、金属-

トポロジカル絶縁体のヘテロ界面では、大きなスピンの流-電流変換効率が期待されるため、スピンの変換の分野で大いに注目されている。

本研究では、トポロジカル絶縁体(Bi_{1-x}Sb_x)₂Te₃とCuの界面を作製し、スピントルク-強磁性共鳴法をもちいて、界面での電流-スピンの流変換を調べた。電流-スピンの流変換の効率 q_{ICS} を導入した。(Bi_{1-x}Sb_x)₂Te₃ではSbのドーブ量 x を変えることで、バンド構造をほとんど変化させずにディラック点に対するフェルミエネルギーの位置を動かすことができる。図3はSbドーブ量 x と q_{ICS} の関係をプロットしたものである。ドーブ量 $x \sim 0.8$ ではフェルミ面はディラック点を横切るが、このとき q_{ICS} が大きく減少すること実験的に観測された。これは、従来の理論では説明できず、さらなる研究が必要であると考えられる。この研究により、トポロジカル絶縁体のバンド構造でフェルミ面の位置を最適化することが、スピンの変換効率を最大化するために重要であることが明らかになった[4]。

参考文献

- [1] J. C. Rojas Sanchez et al., Nature Commun. **4**, 2944 (2013).
- [2] M. Isasa et al., Phys. Rev. B. **93**, 014420 (2016).
- [3] S. Karube et al., Appl. Phys. Exp. **9**, 033001 (2016).
- [4] K. Kondou et al., Nature Phys. **12**, 1027 (2016).

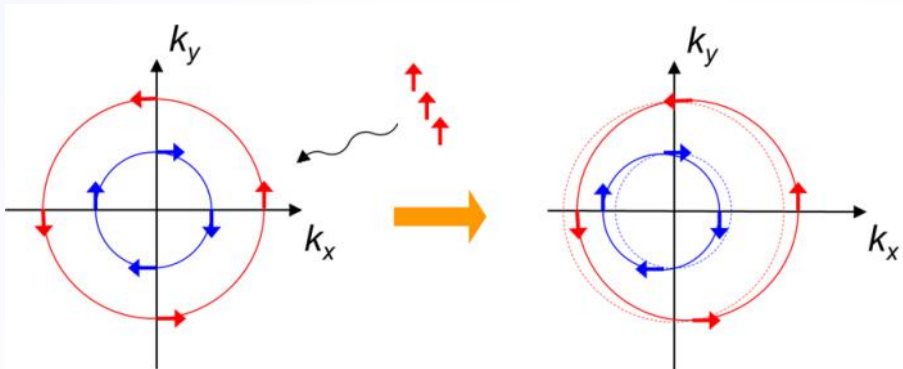


図1： ラッシュバ分裂した界面で起こるスピンの流-電流変換の機構の概略図

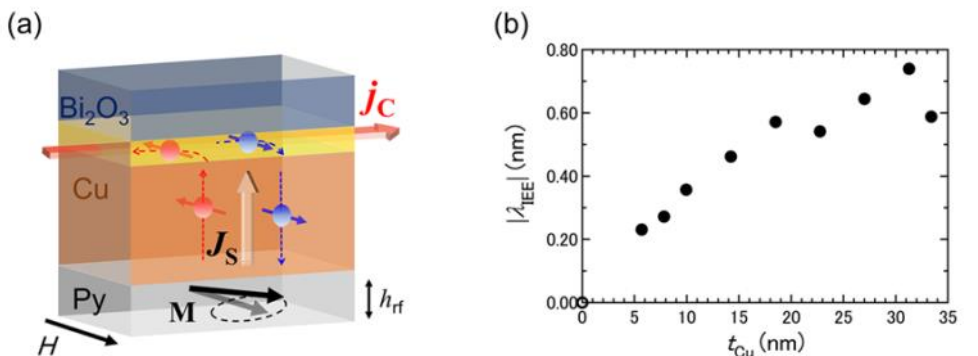


図2： (a) Bi₂O₃/Cu界面でのスピンの流-電流変換素子の模式図 (b) スピンの流-電流変換効率 λ_{ITEE} のCuの膜厚依存性

Nonlinear voltage from spin accumulation in silicon

Spintronics Research Center, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

Ron Jansen

A01班

https://unit.aist.go.jp/src/cie/en_index.html

The nonlinear voltage generated by spin accumulation in silicon is investigated, both experimentally and theoretically.

In a paramagnetic material there is no net spin density in equilibrium. However, a non-equilibrium spin density can be created in various ways, such as optical excitation, electrical injection of a spin-polarized current from a ferromagnetic contact, thermally-driven spin injection, or by charge-to-spin conversion mediated by spin-orbit interaction. The resulting spin accumulation, generally described by a spin splitting $\Delta\mu = \mu^\uparrow - \mu^\downarrow$ of the electrochemical potentials, is usually detected by linear phenomena, such as electrical spin-charge conversion at the interface with a ferromagnetic electrode. This produces a charge voltage linearly proportional to the spin accumulation.

Recently, it has been noted that a spin accumulation in a paramagnetic material also produces an additional charge voltage of nonlinear origin [1]. This voltage originates from the energy dispersion of the electronic properties of the paramagnet, and was recently observed for graphene [1] and GaAs [2]. Two sources have been identified. The first is the energy dispersion of the density of states. This would result in a change of the total number of electrons when μ^\uparrow is shifted up and μ^\downarrow is shifted down by $\Delta\mu/2$, which has to be compensated by a shift of the spin-average electrochemical potential in order to conserve charge. This nonlinear voltage exists even if the spin accumulation is spatially ho-

mogeneous. A second contribution to the nonlinear voltage originates from the energy dispersion of the transport parameters of the paramagnetic material, such as the diffusion constant. When the spin accumulation has a spatial variation (typically an exponential decay from the injection source), the charge currents created by the gradient in the electrochemical potentials μ^\uparrow and μ^\downarrow for the two spin orientations do not cancel when the diffusion constant is energy dependent (note that the energy of the electrons with opposite spins is unequal). Hence, a gradient in the spin-average potential has to develop. This second contribution is absent when the spin accumulation is homogeneous and no gradients are present. Within the realm of the Nano Spin Conversion Science project, we investigate the nonlinear voltage generated by spin accumulation in n-type silicon, both experimentally and theoretically.

In previous research with graphene [1] and GaAs [2] as the paramagnetic material, the non-local device geometry was used. Spins were electrically injected into the paramagnetic channel from a ferromagnetic source contact and the nonlinear voltage was detected using two non-magnetic (metal) contacts, one of them placed near the source contact where the spin accumulation is non-zero, and the other placed far away. Our device

geometry differs in that the two non-magnetic detection contacts are both placed far away from the charge and the spin current path, in a region where the spin accumulation is non-existing. Moreover, the lateral size of the ferromagnetic source electrode, a $\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30}/\text{MgO}$ tunnel contact, is much larger than the spin-diffusion length of the Si channel.

For this new device geometry, we developed a theory to quantify the magnitude, sign and scaling of the nonlinear voltage produced by the spin accumulation in the semiconductor due to the energy dispersion of its electronic properties. We found that a small but detectable nonlinear voltage should develop between the two non-local normal metal contacts, even though they are both placed outside the region where the spin accumulation exists. However, a critical requirement is that the current density across the ferromagnetic source contact is spatially non-uniform, so that the spin accumulation in the Si channel is inhomogeneous and asymmetric in the two directions of the normal metal contacts. Such a non-uniform spin injection occurs when the tunnel resistance is comparable to or smaller than the square resistance of the Si channel. We found that it is also important to include the exact profile of the spin accumula-

tion under the contact and near the edges of the source tunnel contact.

Experimentally, the voltage was probed via the Hanle and inverted Hanle effect [3]. We detected a clear contribution that is an even (quadratic) function of the induced spin accumulation, as expected for the nonlinear voltage. The quadratic signal is most pronounced at low temperature, and reduced at room temperature mainly because the spin accumulation is smaller [4].

References

- [1] I.J. Vera-Marun, V. Ranjan and B.J. van Wees, *Nat. Phys.* **8**, 313 (2012) & *Phys. Rev. B* **84**, 241408(R) (2011).
- [2] C.C. Geppert, L.R. Wienkes, K.D. Christie, S.J. Patel, C.J. Palmstrøm, and P.A. Crowell, arXiv:1402.2638.
- [3] S.P. Dash, S. Sharma, J.C. Le Breton, J. Peiro, H. Jaffrès, J.-M. George, A. Lemaître, and R. Jansen, *Phys. Rev. B* **84**, 054410 (2011).
- [4] The research described here has been performed together with Dr. K.R. Jeon, Dr. H. Saito and Dr. S. Yuasa of the National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Tsukuba, Ibaraki 305-8568, Japan.

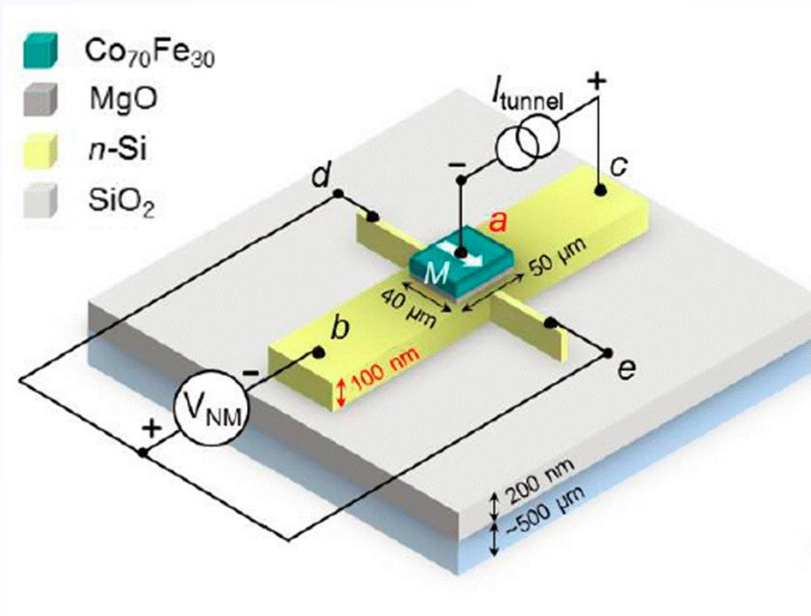


Fig. 1: Sketch of the device used to examine nonlinear voltage from spin accumulation in Si.

単層グラフェンにおけるスピン流-電流変換

京都大学大学院工学研究科電子工学専攻

白石誠司、安藤裕一郎、ドウシェンコ セルゲイ

A02班

<http://cmp.kuee.kyoto-u.ac.jp/>

グラフェンやカーボンナノチューブ等のナノカーボン材料におけるスピン流-電流変換現象の体系的理解を目指しています。



教授 白石誠司 特定准教授 安藤裕一郎

博士研究員
ドウシェンコ セルゲイ

はじめに

グラフェンやカーボンナノチューブ等のナノカーボン材料は次世代エレクトロニクス材料として期待されている。これらの材料はスピン軌道相互作用が小さいことに起因し、長いスピン寿命が期待されており、スピン輸送における有望なチャンネル材料の一つと期待されている。ナノカーボン材料をスピン輸送チャンネルに用いる研究はスピントロニクス研究の黎明期から行われており、1999年には電氣的スピン注入技術を利用したカーボンナノチューブ中のスピン輸送が報告されている[1]。グラフェン中の電氣的スピン注入・輸送についても2000年代半ばには実現しており[2,3]、その後もスピン輸送現象における新規物性の解明に貢献している。スピンポンピングを用いた室温スピン輸送についても我々の研究グループから2013年に報告しており[4]、ナノカーボン材料におけるスピン輸送技術の確立は概ね完了したと言える。一方、近年ではこれらの材料をスピンと他の物理量（電流、電圧等）との変換に用いるという研究も始まっている。例えばグラフェン中に点在するCuクラスターによる電子の共鳴スキュー散乱現象により、面直方向を向いたスピンに対して極めて大きなスピンホール角

が報告されている[5,6]。一方、我々の研究グループでは面内方向を向いたスピンをグラフェン又はカーボンナノチューブ薄膜に注入した場合のスピン流-電流変換について研究を行っている。本稿ではグラフェン中のスピン流-電流変換現象について最近の進展について報告する。

単層グラフェンにおけるスピン流-電流変換

グラフェン中のスピン流-電流変換の実験で用いた試料構造を図1に示す。本研究ではグラフェンへのスピン注入の手法としてスピンポンピングを採用した。スピン注入源としてはイットリウム鉄ガーネット（YIG）単結晶薄膜を用いた。YIG膜はフェリ磁性絶縁膜であり、強磁性体金属を用いたスピンポンピングの実験で懸念されるプレーナーホール効果等の外的要因に由来する起電力を抑制することができる。実験ではCuエピタキシャル薄膜上に成長した大面積単層グラフェンをYIG薄膜上に転写した試料を用いた。試料の作製は共同研究先の九州大学グローバルイノベーションセンター・吾郷研究室に依頼している。グラフェン/YIG試料の両端に電子線蒸着

装置を用いてAu/Ti電極を形成し、スピンプンピング中におけるDC起電力を測定した。強磁性共鳴の励起には電子スピン共鳴装置を用いた。スピン軌道相互作用の小さいグラフェンにおいてもスピン流-電流変換に起因した起電力が検出可能であることは2014年に報告している[7]。本年度はグラフェン中のスピン流-電流変換の物理的起源について調査を行った。本実験で用いる試料構造で期待できるスピン流-電流変換機構は逆スピンホール効果 (ISHE) 又は逆ラシュバ・エデルシュタイン効果 (IREE) のいずれかである。一般的に、2次元材料であるグラフェン中では面直方向に輸送されるスピン流は制限され、ISHEが支配的であるとは考えにくい。一方

IREEの本質は空間反転対称性の破れた界面におけるスピン蓄積であり、下面のみがYIGに接触している本実験のグラフェン試料ではIREEの条件を満たしていることが期待できる。本研究ではISHEとIREEを切り分けるため、面直方向の電界に着目した。面直方向の電界の大きさを変調することによってIREEの効果が変調されることが予想される。そこで本研究ではイオン液体を用いたゲート機構をグラフェン上に作製し、面直方向の電界の変調を行った。実際の実験では試料を長時間横向きに保持する必要がある。そこでイオン液体をゲル状にしたイオンゲルを用いた。これらの技術は共同研究先の大阪大学工学研究科・桑畑研究室にご指導いただいた。

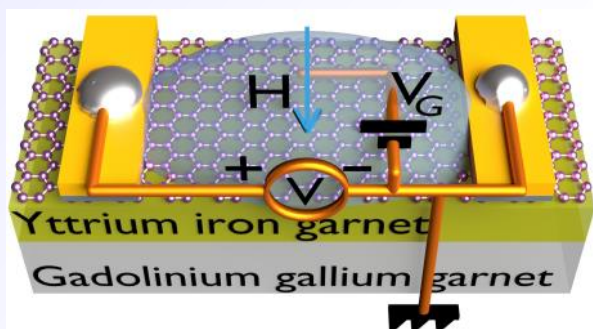


図1：実験に使用したグラフェン/YIG素子

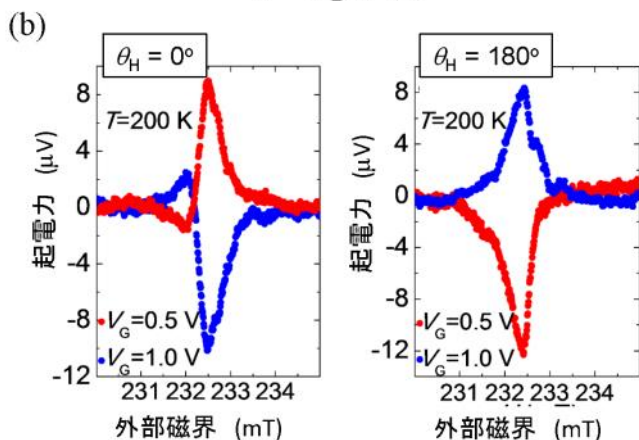
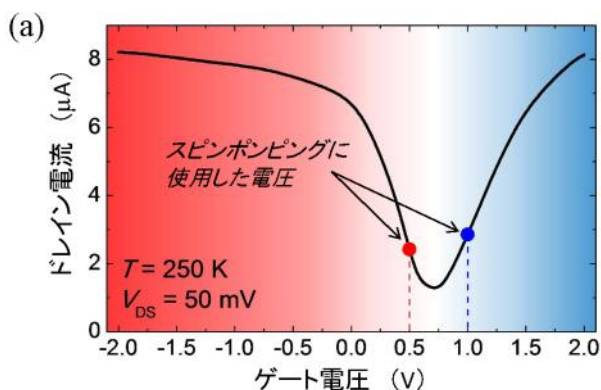


図2：(a) ドレイン電流のゲート電圧依存性および (b) ゲート電圧印加下で測定した起電力信号[9]

グラフェン膜におけるドレイン電流のゲート特性を図2(a)に示す。明瞭な両極性特性が得られており、0.7 V付近において伝導度の最小値が得られた。これは0.7 Vにおいてフェルミレベルがディラック点近傍に位置していることを意味している。スピンプンピングの実験において、室温ではゲートドレイン間に数nA程度のリーク電流が発生した。従ってスピンプンピングの測定は全て200Kで行った。YIG膜の強磁性共鳴条件近傍におけるDC起電力の測定結果を図2(b)に示す。スピンプンピング条件下において明瞭な起電力が検出されており、外部磁界の方向を0°から180°に反転すると起電力の極性も反転している。これらの結果はグラフェンへのスピンプンピングおよびグラフェン中におけるスピン流-電流変換を示唆している。特筆すべき点はゲートによりキャリアタイプを正孔から電子に変調すると起電力の極性も反転している点である。本結果はグラフェンにおけるスピン流-電流変換の極性をゲートにより変調した初めての結果である。また、スピンプンピング条件下におけるspin-wave heat conveyer効果[8]の寄与を銅-コンスタンタン熱電対薄膜を形成し評価したところ、最高でも起電力の1%程度に留まることを確認している。即ち、当該効果に起因する熱起電力では図2(b)で得られた起電力は説明できない。変換された電流とゲート電圧の関係を図3に示す。変換された電流はディラック点近傍で

極性が反転している。注目すべき点はディラック点から十分離れた領域では変換後の電流量が一定である点である。グラフェンの面直方向の電界はゲート電圧によって変調されているにもかかわらず、一定の電流量を示すことはIREEで期待される特性とは異なる。今後、詳細な検討は必要ではあるが、本研究からは予想外にもISHEが支配的であることを示唆する結果が得られた[9]。

参考文献

- [1] K. Tsukagoshi et al., Nature **401**, 572 (1999).
- [2] N. Tombros et al., Nature **448**, 571 (2007).
- [3] M. Ohishi et al., Jpn. J. Appl. Phys. **46**, L605 (2007).
- [4] Z. Tang et al., Phys. Rev. B **87**, 140401 (2013).
- [5] J. Balakrishnan et al., Nat. Comm. **5**, 4748 (2014).
- [6] A. Ferreira et al., Phys. Rev. Lett. **112**, 066601 (2014).
- [7] R. Ohshima et al., Appl. Phys. Lett. **105**, 162410 (2014).
- [8] T. An et al., Nat. Mater. **12**, 549 (2013).
- [9] S. Dushenko et al., Phys. Rev. Lett. **116**, 166102 (2016).

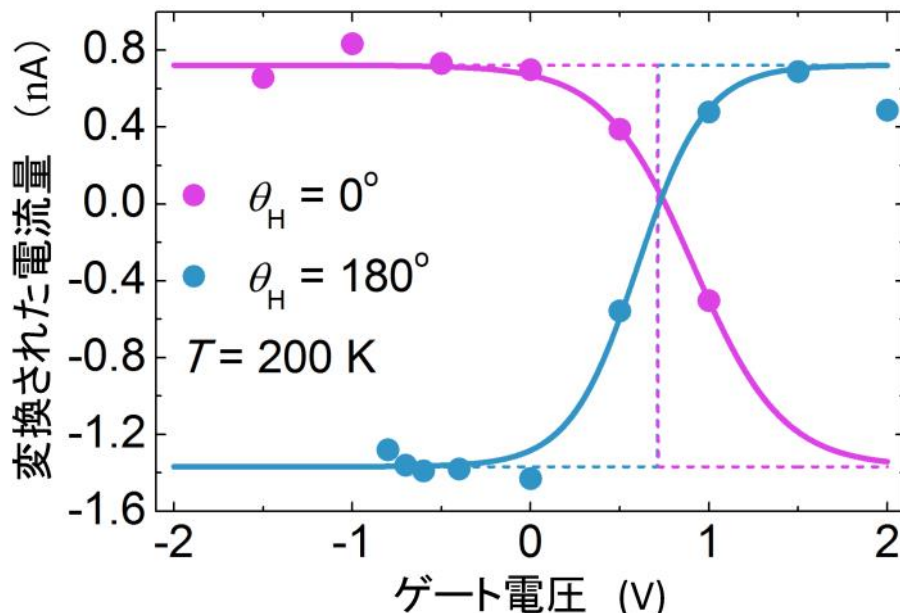


図3：スピンプンピングで生成した電流のゲート電圧依存性[9]。

次世代半導体材料ゲルマニウム中のスピン緩和現象

大阪大学 大学院基礎工学研究科 電子光科学領域/附属スピントロニクス学術連携研究教育センター 浜屋宏平

A02班

<http://www.semi.ee.es.osaka-u.ac.jp/hamayalab/>

IV族半導体ゲルマニウム(Ge)は、シリコン(Si)よりもキャリア移動度が高い材料として知られており、次世代CMOSのチャネル材料として注目されている。このGeを利用したスピントロニクス素子を実現するためには、Geへの電氣的スピン注入技術を開発し、Ge中の電子・正孔スピンの緩和現象を理解する必要がある。



教授 浜屋宏平

はじめに

半導体中のスピン緩和に関する研究は、光学的手法を使ったスピン注入・検出技術が発達していることを背景に、GaAsを中心としたIII-V族半導体を舞台に研究が進んできた。一方、IV族半導体であるSiやGeでは光学的手法の利用が難しいため、そのスピン緩和現象を研究する上で、応用上も極めて重要である電氣的なスピン注入・検出手法を用いる必要がある。本稿では、独自に開発してきたGeへの高効率スピン注入技術を利用して、Ge中の電子及び正孔スピン緩和の物理を研究した最近の成果を紹介する。

高品質ホイスラー合金/Geヘテロ界面

Ge中のスピン緩和を研究するために、Ge中へスピン注入技術確立する必要がある。スピン抵抗ミスマッチを考慮すると、半導体へのスピン注入は難しく[1,2]、例えば強磁性金属/半導体界面に絶縁体トンネルバリアを挿入する手法が用いられることが多い。一方、我々はこれまで、Ge(111)結晶面の原子配列がハーフメタルと予想される材料が多数存在するホイスラー合金材料の(111)面の原子配列と一致していることに着目し、低温で規則構造のホイスラー合金薄膜を形成することに成功してきた[3,4]。最近では、その逆構造であるホイスラー合金上のGe薄膜形成にも成功している[5,6]。図1には、我々の低

温結晶成長技術で実現したCo系ホイスラー合金/n-Ge及びp-Ge/Fe系ホイスラー合金ヘテロ構造の断面TEM写真を示した。半導体と強磁性合金からなるヘテロ界面であるにも関わらず、界面反応物のない高品質なヘテロ構造が形成されている様子がうかがえる。最新の高分解能構造解析技術によると[7]、極微量のGe原子の拡散が観られるものの、ヘテロ界面付近の高スピン偏極率は維持されているレベルの品質を有していることが明らかになっている。このような高品質ホイスラー合金/Geヘテロ界面を用いたスピン注入・検出を行うことができるのは、世界中で筆者らの研究グループのみである。

Ge中の電子・正孔スピン緩和

n-Ge (電子濃度 $\sim 10^{19}\text{cm}^{-3}$)及びp-Ge (正孔濃度 $\sim 10^{18}\text{cm}^{-3}$)を伝導チャネルとした微小な横型スピンバルブ素子構造を作製し、強磁性ホイスラー合金からのスピン注入を行うことで、非局所スピン信号の観測を試みた。n-Geの場合は8 Kで数 $\text{m}\Omega$ [8]、p-Geの場合は30 Kで0.1 $\text{m}\Omega$ 程度[9]の非局所スピン信号を観測することに成功し、確かにn-Ge層及びp-Ge層を純スピン流が伝導したという証拠を得た。これらのスピン信号の温度依存性を調査したところ、温度の上昇に伴ってスピン信号強度は減衰する傾向を示し、n-Ge及びp-Geを伝導チャネルとして用いた両方の素子において、150 K付近でスピン信

号は消失した。得られたスピン信号強度と一次元拡散モデルを用いた解析から[1,2]、スピン緩和時間の温度依存性を抽出した結果を図2に示す。120 K以下の低温領域に限定される話となるが、n-Geにおいてはスピン緩和時間に温度依存性がほとんど見られず[8]、p-Geではスピン緩和時間が1桁以上減少する傾向[9]を明らかにした。縮退系Geにおける電子スピンの緩和は、ドーピングした不純物元素の作るポテンシャルの影響で短距離スピン散乱が支配的となり、温度依存性が非常に小さいことが最近の理論で提案されている[10]。図中の灰色点線には、その代表的な計算結果を示しているが、実験結果はそれを支持するものであることがうかがえる。一方、正孔スピン緩和時間は、最近の光学的手法の発展により情報が得られ始めており(図中 青点及び赤点参照)[11,12]、本研究で得られたスピン緩和時間の温度依存性は光学的手法から明らかにされている結果と概ね一致している。

これらの研究成果は、Geへの電氣的スピン注入・検出技術を用いた電子・正孔のスピン緩和の解明につながると期待され、今後、キャリア濃度の影響や結晶方位の影響を詳細に研究することで、応用上重要となる素子設計の指針を与えるものと期待される。

参考文献

- [1] A. Fert and H. Jaffres, Phys. Rev. B **64**, 184420 (2001).
- [2] S. Takahashi and S. Maekawa, Phys. Rev. B **67**, 052409 (2003).
- [3] K. Hamaya et al., Phys. Rev. Lett. **102**, 137204 (2009).
- [4] S. Yamada et al., Phys. Rev. B **86**, 174406 (2012).
- [5] S. Yamada et al., Cryst. Growth Des. **12**, 4703 (2012).
- [6] M. Kawano et al., J. Appl. Phys. **119**, 045302 (2016).
- [7] Z. Nedelkoski et al., Sci. Rep. **6**, 37282 (2016).
- [8] Y. Fujita et al., Phys. Rev. B **94**, 245302 (2016).
- [9] M. Kawano et al., Appl. Phys. Lett. **109**, 022406 (2016).
- [10] Y. Song et al, Phys. Rev. Lett. **113**, 167201 (2014).
- [11] C. Hautmann et al, Phys. Rev. B **83**, 161203 (R) (2011).
- [12] E. J. Loren et al, Phys. Rev. B **84**, 214307 (2011).

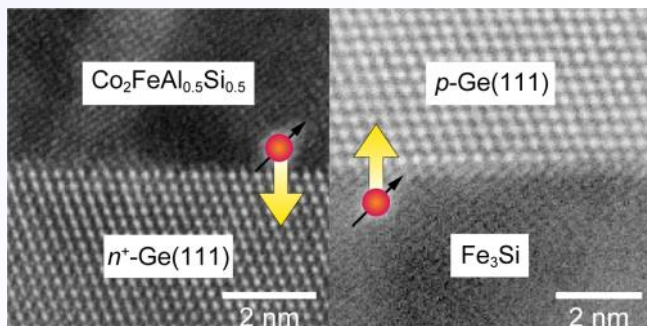


図1：高品質ホイスラー合金/Geヘテロ界面

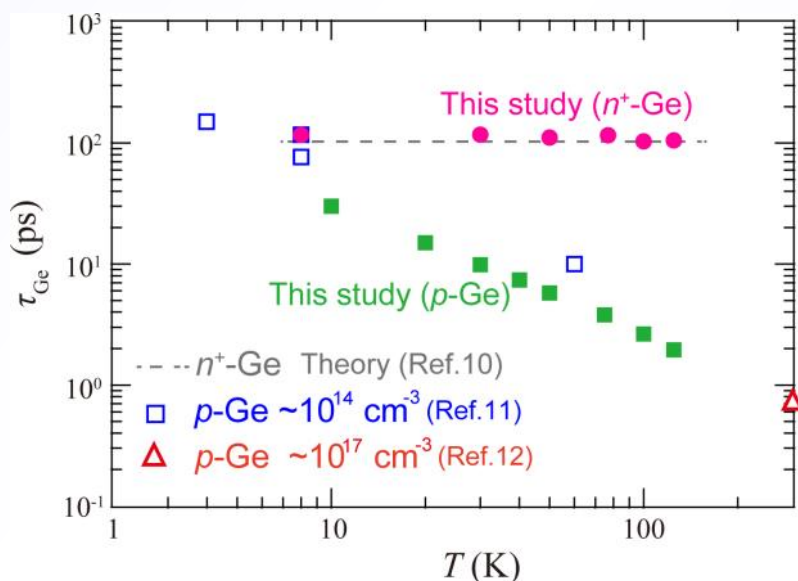


図2：Ge中のスピン緩和時間(温度依存性)

光子—電子スピンポアンカレインターフェース

大阪大学産業科学研究所 量子システム創成研究分野

大岩 顕

A03班

<http://www.sanken.osaka-u.ac.jp/labs/qse/>

単一光子から単一電子スピンへの量子状態変換は、光とスピンという異なる量子系をつなぐ量子インターフェース（ポアンカレインターフェース）として重要な量子技術であるだけでなく、光学的スピン変換の素過程の一つとして、変換過程でのコヒーレンスの保持など、興味深い基礎物理の課題を提供する。本稿では、量子ドットと量子ポイントコンタクト電荷計を使った単一光子が生成する単一電子の捕捉と検出、そのスピンの検出など、量子状態変換の実証へのアプローチを紹介する。



教授 大岩顕

はじめに

半導体量子ドット中の電子スピンは、0次元閉じ込めにより環境から孤立されるため、長いスピン位相緩和時間を持つと期待され、量子情報処理の重要な候補の一つとして[1]、単一電子スピン検出や単一電子スピン操作、2量子ビット操作など基盤技術が次々と実現されている[2]。これとは独立に、光の量子である光子を使った量子暗号通信の研究も着実に進展している。こうした中、光子と量子二準位系の結合は量子電気力学として、共振器内の原子やイオンについて研究があり、最近では超伝導共振器と結合した超伝導量子ビットで重要な成果が報告されている。しかし単一スピンと単一光子を強く結合する技術は確立しておらず、その物理的過程の解明とともに基盤技術を開発することで、量子技術や固体物理での電子スピンの有用性は大きく高まる。

光子から電子スピンへの量子状態変換

スピントロニクスでよく知られた、化合物半導体のバンド間遷移における角運動量保存に基づくスピン選択励起が示すように、電子スピンは光の偏光と相性が良い。これを応用し、Vrijenらは2001年に、横磁場を印加した

半導体量子井戸中で、軽い正孔のスピン結合状態から、電子スピン状態へ量子状態変換を提案し[3]、2008年にKosakaらは時間分解カー回転測定でこの変換をアンサンブル測定で実証している[4]。この変換が単一量子間で実現できれば、長距離量子情報通信を実現する量子中継器などの量子インターフェース技術に大きな進展をもたらす。そこで我々は単一量子間での光子から電子スピンへの量子状態変換の実証を目指している。

二重量子ドットのパウリ効果を利用した単一光生成電子スピン検出と角運動量変換

単一電子スピンの検出と操作を行うために、2次元電子系に負電圧を印加して形成される電気制御量子ドットは極めて有用である。我々は、量子ドットの近傍に作製した量子ポイントコンタクト(QPC)を高感電荷計として利用して(図1)、量子ドットに捕捉された単一光生成電子スピンの検出を実現した[5,6]。この単一光生成電子スピンを検出するために、2重量子ドットの2電子状態で起こるパウリスピンブロックードを利用する。2重量子ドットにおいて、両方のドットを電子が1つずつ占有した場合、もし2つの電子スピンがお互いに反平行であれば、電子の

ドット間遷移が許されるが、平行の場合、パウリの排他律により電子のドット間遷移が禁止となり、電子は各ドットにとどまったままとなる（パウリスピンブロック）。ドット間遷移はQPC電荷計で検出することができるので、パウリスピンブロックによりスピン情報を電荷情報に変換し、検出することが可能となる。まず希釈冷凍機中の二重量子ドットへ微弱パルス光を照射する前、片側ドットに電子が一つ占有している状態を作り、試料面に垂直な外部磁場をかけ、そのスピンを磁場と平行にそろえておく。ここへ微弱光を照射し、単一光生成電子がもう別のドットを占有したとき、スピンプロックが起るかどうかを、QPCで検出することで、単一光生成電子スピンの検出を実現した(図2) [7,8,9]。さらに、照射光子の偏光と、生成される単一電子スピンとの対応を実証し、単一光子偏光から単一電子スピンへの角運動量変換を実現した[7]。

量子状態変換に向けた光-電子変換の高効率化

位相情報も含めた単一量子間の量子状態変換の実現には、いくつかの課題が存在する。一つは、理論提案に従い、横磁場中で、軽い正孔励起を行う必要がある。しかしこれまでの研究で、量子井戸の光学密度が低いことと、低温で集光したビームと量子ドットのサイズの不整合のために、現状の光子-電子変換効率は 10^{-5} - 10^{-4} 程度と極めて低く、量子状態変換の実証のための高度な測定や、将来の量子情報通信への応用には、これを様々な方法で大幅に改善することが重要である。その一つとして(110)面上の量子井戸を使った量子ドットにおける量子状態変換の研究を行っている。よく利用される(001)面上の

量子井戸と異なり、(110)面上の量子井戸では重い正孔は面内磁場に対して有限のg因子を持つので、軽い正孔と同様に、前述の量子状態変換の手法が可能となる。重い正孔は軽い正孔よりも大きな状態密度を持つため、その励起効率は軽い正孔に対して向上することが期待される。変換効率のさらなる向上のために、プラズモン構造やフォトニック結晶などナノフォトニクスを導入する試みにも挑戦している[8,9]。

また量子中継には、光子対から電子スピン対へのもつれ変換が次の課題となる。これが実現すれば、固体における新たな量子力学的実験も可能となり、量子技術だけでなく、固体物理研究の新たな方法を与えると期待する。

参考文献

- [1] D. Loss and D. P. DiVincenzo, Phys. Rev. A **57**, 120 (1998),
- [2] R. Hanson et al., Rev. Mod. Phys. **79**, 1217 (2007).
- [3] R. Vrijen and E. Yablonotich, Phys. E **10**, 569 (2001).
- [4] H. Kosaka et al., Phys. Rev. Lett. **100**, 096602 (2008).
- [5] A. Pioda et al., Phys. Rev. Lett. **106**, 146804 (2011).
- [6] T. Fujita et al., Phys. Rev. Lett. **110**, 266803 (2013).
- [7] T. Fujita et al., arXiv1504.03696.
- [8] 大岩頭, 応用物理 **85**, 769 (2016).
- [9] A.Oiwa, J. Phys. Soc. Jpn. **86**, 011008 (2017).

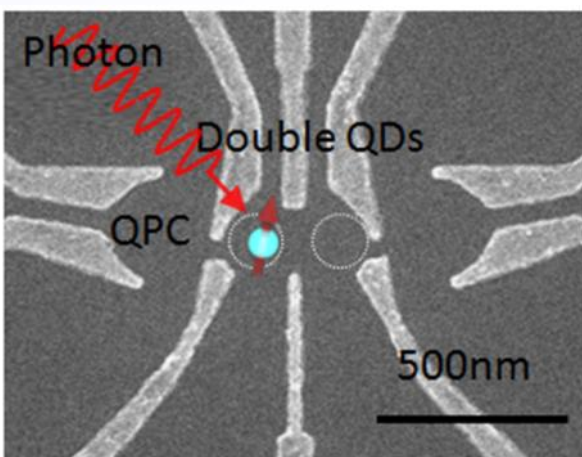


図1：横型二重量子ドットへの光子照射の模式図

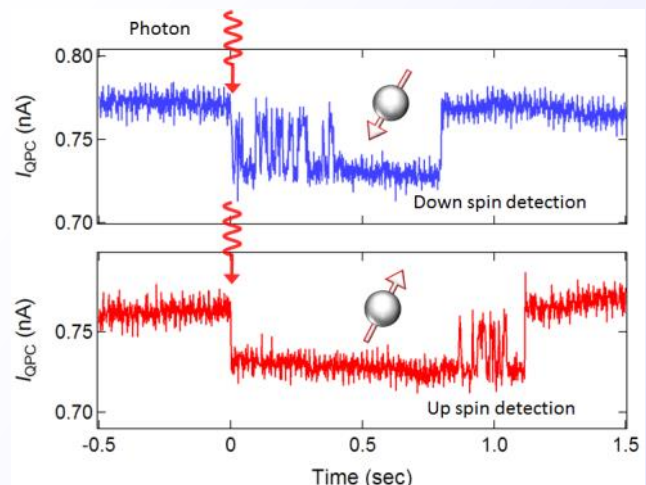


図2：単一光生成電子スピンの実時間検出
(上)下向きスピン検出と、(下)上向きスピン検出を示す電荷信号

フェムト秒偏光パルスを用いたマグノニクス の研究

九州大学大学院理学研究院 物理学部門 佐藤琢哉

A03班

<https://ocmp.phys.kyushu-u.ac.jp/>

フェムト秒偏光パルスを用いて反強磁性体・フェリ磁性体中にスピン波（マグノン）の生成・制御・検出を行う。とくに時間空間分解測定とシミュレーションによって、スピン波の透過現象や非線形スピン波伝播についての知見を得ることを目的とする。



准教授 佐藤琢哉

はじめに

エレクトロニクスを基盤とする現代の情報通信において解決すべき最も重要な課題として、素子の小型化と集積化に伴うジュール熱の増大があげられる。これらを解決するために、情報媒体として電荷の流れ（電流）の代わりにスピンの流れ（スピン流）を用いる研究が行われている。とくにスピン流としてスピン波を用い、その生成・制御・検出の技術を研究するマグノニクスと呼ばれる分野は、信号を絶縁体中でも流すことができることから近年になって注目されるようになってきている。われわれは、光を駆使してスピン波を生成・制御・検出することで、光マグノニクスの開拓を目指している[1-4]。

逆ファラデー効果を用いた反強磁性体のスピン振動の励起

反強磁性体は交互に配列したスピン間の交換相互作用により歳差運動の共鳴周波数が高く、より高速な磁化制御が可能であると期待されている。われわれは非熱的・インパルスに反強磁性体の磁気励起状態を実現するために、円偏光パルスを励起光として用いることを考えた。このような制御は弱強磁性体やフェリ磁性体に対しては逆ファラデー効果によって実現されていたが、正味の磁化を持たない反強磁性体では逆ファラデー効果は有効に作用しないと考えられていた。さらにこれまで、基

底状態の反強磁性体は正味の磁化が消失しているため、磁気状態を（ファラデー効果のような）線形光学効果で測定するのは容易ではなかったと考えられてきた。われわれは反強磁性体NiOに円偏光パルスを照射することで、逆ファラデー効果を介して1.1 THzのスピン振動が誘起でき、さらにファラデー効果で検出できることを示した[5]。最近では反強磁性体CoOを用いることで9 THzにも達するスピン振動の誘起・観測に成功し、これは強磁性体などと比べると2~3桁も高い値となっている。

光によるスピン波の生成とその伝播の時間分解イメージング・制御

スピン波は半世紀前から実験・理論で盛んに研究されてきた。近年になってスピン波はスピン流の一種として理解され始め、電子の電荷に置き換わる情報媒体になりうるものとして、マグノニクスという研究分野で盛んに研究がおこなわれている。ここで、スピン波の動的特性ダイナミクスを実験的に検証しようとする、誘導ループを作成するために電極を微細加工する場合は空間分解能が下がる。他方、ブリュアン散乱でスピン波を検出する場合は時間分解能が下がる。このため、スピン波が2次元的に伝播している様子を位相まで含めて時間・空間分解して可視化した例はなかった。われわれは、フェムト秒光パルスを試料に集光してファラデー効果を超高感度

で検出し、光スポットをスキャンすることで、初めてスピン波の可視化に成功した（図1）。また励起されるスピン波の波数分布が励起光のスポットの空間形状を空間周波数分解した成分に比例することを示し、これにより誘起するスピン波の波数ベクトル分布を制御し、伝播方向が制御できることを理論的、実験的に示した。こうして、空間的に波形整形された光による自由度の大きいスピン波の制御と観測が可能であることを示した[6]。

■ 逆磁気光学効果を用いた偏光-磁化振動の3次元転写

完全偏光した光はストークスパラメータ S_1, S_2, S_3 を用いて3つの自由度があり、また各パラメータにつき正負を取りうる。これらの偏光状態は S_1, S_2, S_3 の3次元空間にあるポアンカレ球上の任意の1点で表現される。これまで光を用いてスピン歳差運動（磁化振動モード）を励起する場合、光の偏光をどのように変えても、単一モードのみが励起されていた。つまり光の偏光情報を、磁化振動モードとして1対1に転写させることはできていなかった。われわれは[5]の成果をふまえ、光の偏光情報を、磁化振動モードとして1対1転写するために、媒体として3副格子を持つ六方晶反強磁性 YMnO_3 を選んだ。そして実際に、偏光ストークスパラメータ $S_1=\pm 1, S_2=\pm 1, S_3=$

± 1 のポンプ光を用いることで、それぞれ直交したX, Y, Zモードを励起し、さらにパラメータの符号を反転させてモードの初期位相を180度シフトさせた。また、励起された各磁化振動モードを、別のプローブ光を用いて選択的に読み出した。このことは、ポンプ光偏光→磁化振動モード→プローブ光偏光という1対1転写（図2）が成り立ったことを示している[7]。この結果は、応用面では超高速光メモリの研究開発につながると期待され、また基礎研究においては、時間的に波形整形された光パルスを用いて、単結晶磁性体磁化のベクトル制御への道を拓いたと言える。

参考文献

- [1] 佐藤琢哉, 固体物理 **48**, 121 (2013).
- [2] 佐藤琢哉, 日本物理学会誌 **70**, 840 (2015).
- [3] 佐藤琢哉, まぐね **10**, 307 (2015).
- [4] 佐藤琢哉, 応用物理 **85**, 9 (2016).
- [5] T. Satoh et al., Phys. Rev. Lett. **105**, 077402 (2010).
- [6] T. Satoh et al., Nature Photon. **6**, 662 (2012).
- [7] T. Satoh et al., Nature Photon. **9**, 25 (2015).

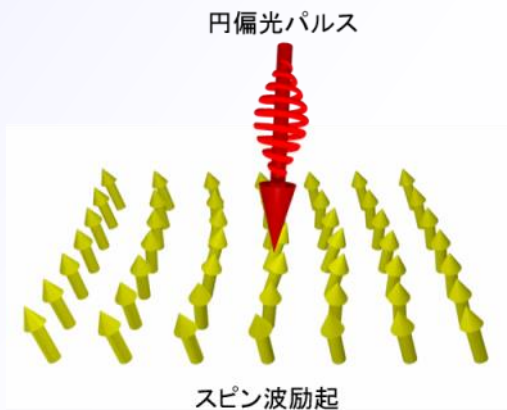


図1：円偏光パルスを用いたスピン波励起

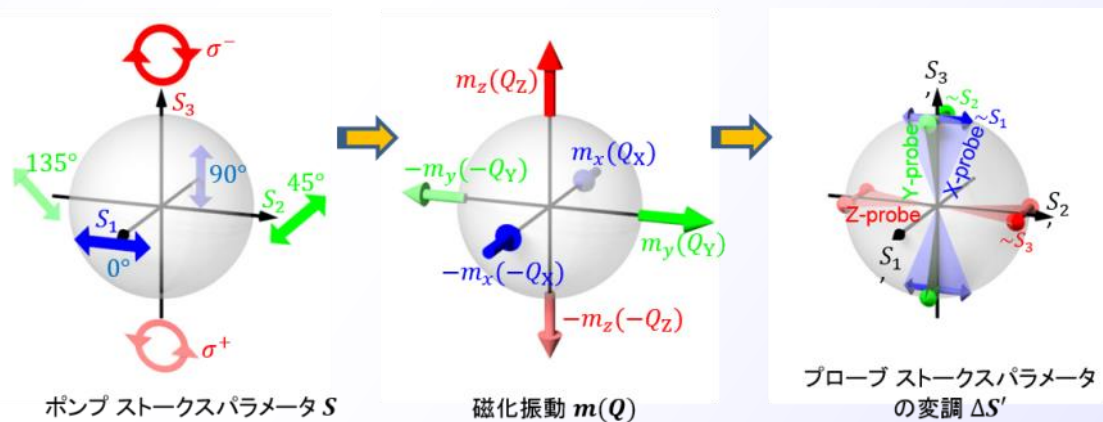


図2：ポンプ光偏光→磁化振動モード→プローブ光偏光の1対1転写

スピン流による反強磁性秩序の検出

東北大学WPI-AIMR 材料物理グループ

邱志勇、侯達之、齊藤英治

A04班

<http://saitoh.imr.tohoku.ac.jp/>

我々のグループでは、電流を伴わない純粋なスピン流「純スピン流」をプローブとし、薄膜の反強磁性秩序を電氣的に検出することに成功した。薄膜の膜厚や物質に依らず同様の結果が得られたことから、本結果に基づいた磁性研究の新たな手法の確立を目指している。



助教 邱志勇



助手 侯達之



教授 齊藤英治

はじめに

スピン角運動量の流れはスピン流と呼ばれ、スピントロニクス分野の中核を担っている。近年の諸研究によってスピン流に関する物理概念・現象が次々に開拓・理解されることで、スピントロニクスの物理も急速な発展を見せている。最近では、スピン流の生成・検出・制御技術が成熟しつつあり、スピン流の応用研究にも注目が集まりはじめている。そこで、我々はスピン流の中でも電流を伴わない「純スピン流」の磁性研究への応用を試みた。

反強磁性と課題

1936年にネールが存在を提唱・定式化した反強磁性[1]は、1990年代にIBMが磁気ヘッド用GMR素子「スピンバルブ」を開発したことによって、にわかに応用技術者の注目を集めることとなった[2]。スピンバルブ素子では反強磁性層と強磁性層の交換結合を利用することで固定磁化層が作られる。そのため、反強磁性薄膜に関する磁性物性の探求も応用上の重要課題の一つになった。しかし、薄膜材料を対象とした磁気物性の評価は困難であり、特に正味の磁気モーメントを持たない反強磁性体の磁気秩序の調査はいまだ最難関のテーマの一つである。反強磁性薄膜の磁気秩序を調べる手法としては、放射光

を利用したX線直線磁気二色性(XMLD)が有効であることが知られているが、大型施設が必要になることに加えて、適用可能な試料のサイズや結晶性にも制限がある。そこで、本研究では、純スピン流をプローブとしたデスクトップの磁気秩序検出手法を新たに開発することを目指し、反強磁性絶縁体薄膜の磁気物性評価を行った。

スピン流による反強磁性秩序の検出

試料には $Y_3Fe_5O_{12}/CoO/Pt$ 三層膜を用い、反強磁性CoO層を透過するスピン流の変化を通じてCoO薄膜の磁気物性を調べた(図1)。 $Y_3Fe_5O_{12}$ は磁性絶縁体であり、スピンポンピングによって $Y_3Fe_5O_{12}$ 層がCoO層に純スピン流を注入する。CoO層を透過してPt層に到達したスピン流は、Ptの大きな逆スピンホール効果によって電流に変換され、電気信号として検出される。従って、 $Y_3Fe_5O_{12}/CoO/Pt$ 三層試料では、CoO薄膜のスピン流透過率を電氣的に調べることができる。

このような三層試料を用いて、スピンポンピング実験を行った結果、 $Y_3Fe_5O_{12}$ の強磁性共鳴条件において、Pt層から鮮明な電圧信号が検出できた。この信号は外部磁場の反転により符号反転することから、スピンポンピングによって生じた純スピン流が逆スピンホール効果で電圧に変換された信号であると考えられる。この電圧信号

の強度がCoO層のスピンの透過率を反映している。

スピンポンピング信号の温度変化を測定した結果、温度に依存したピークが観測された(図2a)。このようなピークはCoO層が無い $Y_3Fe_5O_{12}/Pt$ 二層試料では観測されていない。別に行ったXMLDの測定により、このピーク温度がCoO層の反強磁性相転移温度(ネール温度)に対応することも分かった。すなわち、反強磁性相転移近傍では、低温とネール温度以上に比べ、CoO層をスピン流が流れやすく電圧信号がエンハンスされたと考えられる。

さらに、CoO層の厚みの増加につれ、スピンポンピング信号のピーク温度は高温側にシフトした。これは、反強磁性薄膜において有限サイズ効果[3]として知られる膜厚によるネール温度の変化に対応している。中間層を反強磁性絶縁体NiOに入れ替えても、同様にピークを持つ温度依存性が得られた(図2b)。

以上の結果から、反強磁性薄膜中のスピン流輸送を通じて、電氣的に薄膜の反強磁性転移温度を同定できることが実証された。また、本手法が幅広い膜厚・物質に適用可能であることも分かった。

加えて、スピン流透過率が強磁性共鳴の周波数に強く依存することも観測された。理論的には、スピン流透過率は磁性体の帯磁率、つまり磁化揺らぎの相関と関係している。スピン流透過率が周波数依存性を持つという結果は、スピン流によって反強磁性薄膜の動的磁気揺らぎ

も測定できることを意味しており、純スピン流が反強磁性薄膜の詳細な磁気情報を引き出せるプローブであることを示唆している。

まとめと今後の研究展開

純スピン流を用いて、反強磁性絶縁体中のスピン輸送を系統的に測定した[4]。反強磁性体であるCoOとNiOの薄膜において、スピン流透過率がネール温度で最大値を取ることを発見した。この現象は反強磁性薄膜の磁気秩序検出に直接応用可能なものである。一方、その反面には反強磁性体によるスピン流の制御方法が伏していると考えられる。今後は、スピン流をプローブとした新たな磁気物性研究の手法を確立しながら、スピン流の制御への応用研究も行っていく。

参考文献

- [1] L. Neel, Ann. Phys. (Paris) **5**, 232(1936).
- [2] B. Dieny et al., J. Appl. Phys. **69**, 4774 (1991), C. Tsang et al., IEEE Trans. Magn. **30**, 3801 (1994).
- [3] T. Ambrose and C. Chien, Phys. Rev. Lett. **76**, 1743 (1996).
- [4] Z. Qiu et al., Nat. Commun. **7**, 12670 (2016).

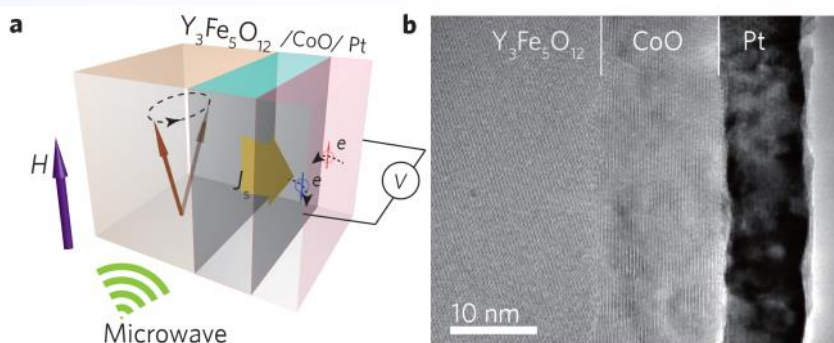


図1 : a. $Y_3Fe_5O_{12}/CoO/Pt$ 三層試料を用いた実験概略図
b. $Y_3Fe_5O_{12}/CoO/Pt$ 三層試料の断面TEM写真

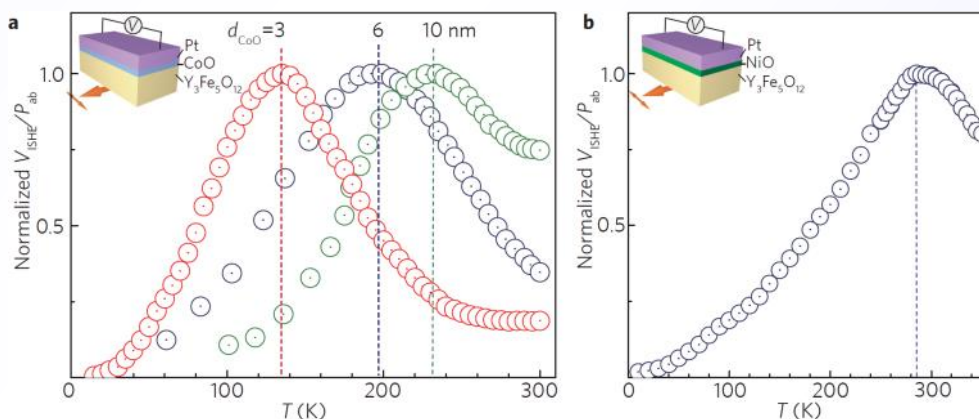


図2 : a. $Y_3Fe_5O_{12}/CoO/Pt$ 三層試料におけるスピンポンピング信号の温度とCoO層の厚さ依存性
b. $Y_3Fe_5O_{12}/NiO/Pt$ 三層試料におけるスピンポンピング信号の温度依存性

スピン・エネルギー変換材料科学；理論グループ

日本原子力研究開発機構、先端基礎研究センター

前川禎通

A05班

http://asrc.jaea.go.jp/asr_eng/index.html

物質・材料は、電子スピンの加えて、原子核の角運動量や物体の力学回転等、様々な角運動量を持つ。我々のグループでは角運動量とエネルギーの保存則に基づき、物質・材料の持つ多彩な角運動量の相互変換の物理を構築することを目的としている。



センター長 前川禎通

はじめに

日本原子力研究開発機構、先端基礎研究センターの「スピン・エネルギー変換材料科学」グループは理論（森サブグループリーダー）と実験（齊藤英治グループリーダー）の合同チームである。実験グループでは、小野がA04班に属している。そのため、理論と実験の強い連携が当グループの特徴である。

スピントロニクスでは、電子スピンの流れであるスピン流の生成と制御を用いて、物質の持つ様々なエネルギーの相互変換を行う。我々の理論グループでは、スピントロニクスを次の2つの方向で発展させることを目指している：1) 電子スピンに加えて、原子核スピンや力学回転等の物質・材料の持つ様々な角運動量をスピントロニクスに組み込み、物性物理と原子核物理、流体力学等との融合を目指す。2) スピントロニクスを多体電子論の枠組みで捉え、磁性体の持つ多体効果をスピントロニクスに組み込んでいく。

1) に関しては、1915年に発見されたアインシュタイン・ドハース効果やバーネット効果を最近の微細加工技術や力学回転技術等、さらには多体量子論の理論的手法やベリー位相等の新しい理論物理の概念を用いて、再構築を行っている。

また、2) に関しては、現象論を用いて発展してきたスピントロニクスの様々な概念や現象を多体電子論の立場から再構築を行っている。以下では、2) に関する我々の最近の研究の一つとして、ハーフメタル強磁性体の多体電子論での評価とそれによるスピンホール効果について紹介したい[1]。

ハーフメタル強磁性体

i) 電子状態

フェルミ面でのスピン分極率が100%の磁性体をハーフメタル強磁性体と呼び、理想的なスピントロニクス材料として注目されている。特にホイッスラー合金や CrO_2 等が高いスピン分極率を持つことから、これらを中心にハーフメタル強磁性体の物質探索が活発である。一方で、上記の高いスピン分極率を持つ強磁性体では、そのスピン分極率が温度の上昇とともに急激に減少してしまい、応用上の大きな問題点となっている。

理論的には、バンド計算等の平均場近似理論を用いて様々な物質でのハーフメタル強磁性体の可能性が議論されている。また、多体効果によるハーフメタル強磁性体の電子状態の不安定性も古くから議論されてきた[2]。以下ではこの問題を紹介する。

電子間の相互作用 (ハバード) パラメータを U 、majority spin (up spin) バンドの電子数密度を n_{\uparrow} とおき、 $\Delta = U n_{\uparrow}$ と定義するとき、 Δ がフェルミエネルギー ε_F に比べて十分に大きい場合、電子状態は図 1 (a) のようになり、up spin バンドと down spin バンドが分離してフェルミ面には up spin の電子しか存在しない。このような金属をハーフメタル強磁性体と呼ぶが、強磁性体のスピン波と down spin 電子の相互作用を考えるとこの電子状態は一変する。いま、図 1 (a) の down spin バンドに電子を加えたとするとこの電子はスピン波を放出して up spin バンドに落ち込んでしまう。その結果、図 1 (b) に示すように、down spin バンドはフェルミ面から状態が有限になる。図 1 (c) 及び (d) にはスピン波と電子の相互作用を示すダイアグラムである。そして、スピン波との相互作用を考慮した時の down spin バンドの状態密度は式 (1) のように書かれる、

$$N^{\downarrow}(\varepsilon) = N^{\uparrow}(\varepsilon) \left(\frac{\varepsilon - \varepsilon_F}{\hbar \omega_M} \right)^{3/2} \quad (1)$$

ここで $N^{\uparrow, \downarrow}(\varepsilon)$ は down spin 及び up spin バンドの状態密度を、 ω_M はスピン波の取りうる最大の周波数を表す。

以上のように、厳密にはスピン分極率が 100% のハーフメタル強磁性体は存在できないことがわかる。また、スピン波の励起は温度の増加とともに急激に増加するの

で、スピン分極率は温度上昇とともに急激に低下していく。磁気トンネル効果等で観測される温度上昇による磁性体のスピン分極率の急激な低下の原因の一つはこの現象に由来していると思われる。

ii) スピンホール効果、

純スピン流は up spin 電子の流れ、 J_{\uparrow} と down spin 電子の流れ、 J_{\downarrow} との差として次式であらわされる、

$$J_S = J_{\uparrow} - J_{\downarrow} \quad (2)$$

そのため、平均場近似で記述されるハーフメタル強磁性体 (図 1 (a)) では、純スピン流は存在できない。一方で、スピン波を考慮した場合 (図 1 (b)) には、一般に J_{\downarrow} が有限になるため、純スピン流が存在する。そのため、スピンホール効果も有限になると考えられる。我々は、skew 散乱及び side jump 機構によるスピンホール伝導度を求めた、

$$\sigma_{SH\downarrow}^{SS} = \frac{27}{4\pi^2} \sigma_{\uparrow}^{SS} \left(\frac{\hbar \varepsilon_F}{\Delta^2 \tau_0} \right)^2 \left(\frac{k_B T}{\hbar \omega_M} \right)^{3/2} \gamma_0 \quad (3)$$

$$\sigma_{SH\downarrow}^{SJ} = \frac{9}{10\pi^2} \sigma_{\uparrow}^{SJ} \left(\frac{\hbar \varepsilon_F}{\Delta^2 \tau_0} \right) \left(\frac{k_B T}{\hbar \omega_M} \right)^{3/2} \gamma_0 \quad (4)$$

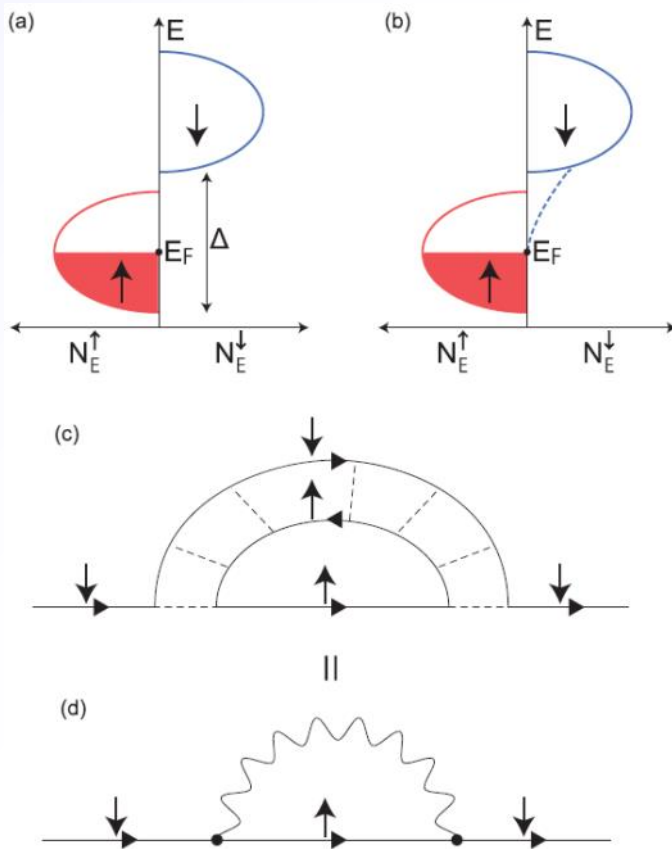


図1 : (a) U を平均場近似で扱った際の、ハーフメタル強磁性体のスピン毎に定義された状態密度。(b) スピン波を考慮したハーフメタル強磁性体の状態密度。(c) 電子-電子散乱で表した、down spin 電子の自己エネルギーのファインマン・ダイアグラム。(d) (c) のプロセスを、電子-マグノン散乱として表したファインマン・ダイアグラム。

ここで、 $\sigma_{SH\downarrow}^{SS}$ と $\sigma_{SH\downarrow}^{SJ}$ はdown spin電子の、 σ_{\uparrow}^{SS} と σ_{\uparrow}^{SJ} はup spin電子の、skew散乱及びside jump機構によるスピホール伝導度をそれぞれ表す。 t_0 はup spin電子の緩和時間を表す。また数値ファクターの $g_0 = \int_0^{\infty} dx \sqrt{x} \left(\frac{1}{e^x + 1} + \frac{1}{e^x - 1} \right)$ は、ゼータ関数 $\zeta\left(\frac{3}{2}\right) = 2.612\dots$ を用いて $g_0 = \frac{4 - \sqrt{2}}{4} \sqrt{\rho} \zeta\left(\frac{3}{2}\right)$ と見積もられる。

図2はCrO₂のパラメータを用いて計算したスピホール伝導度と磁化の温度変化である。このように、スピホール伝導度はdown spinバンドに強く依存する。そのため、スピホール効果はハーフメタル強磁性体の電子状態の研究に新しい知見をもたらすことが期待される。

■ 終わりに

原子力研究開発機構にはユニークな研究手法が多く存在する。その一つである高速回転技術は電子や原子核のスピと物体の持つ力学的な角運動量との相互変換の研

究に利用されている[3,4]。また、ウラン等のアクチノイド物質が取り扱える施設を用いてこれらの物質の持つユニークな物性をスピントロニクスに取り込む研究も進行中である。さらに、中性子やミュオン研究施設でのスピントロニクス材料の研究も進んでいる。これらのユニークな技術や研究施設を用いてスピントロニクスの研究領域を広げていくのも当グループの目的である。

参考文献

- [1] Y. Ohnuma, M. Matsuo, and S. Maekawa, Phys. Rev. B **94**, 184405 (2016).
- [2] J. A. Hertz and D. M. Edwards, Phys. Rev. Lett., **28**, 1334 (1972).
- [3] M. Ono et al., Phys. Rev. B **92**, 174424 (2015).
- [4] H. Chudo et al., J. Phys. Soc. Jpn. **84**, 043601 (2015).

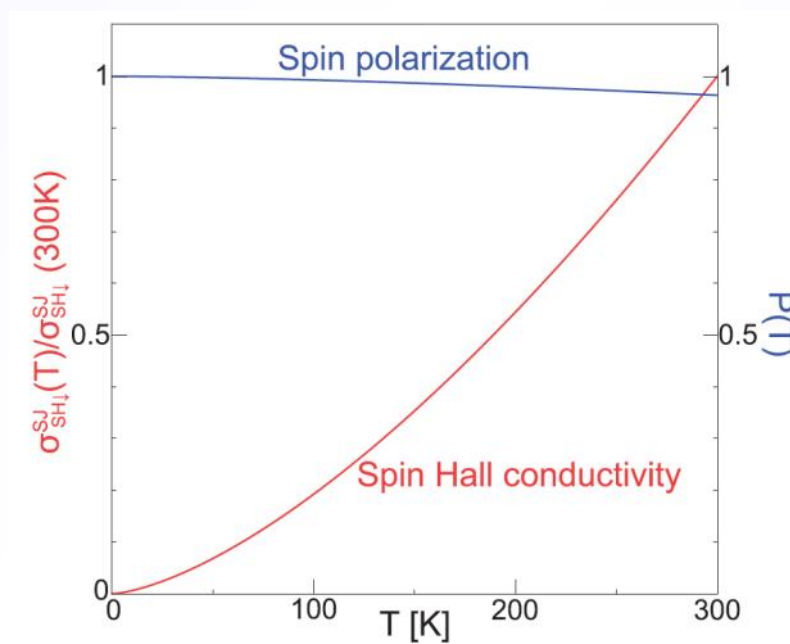


図2：ハーフメタル強磁性体CrO₂のパラメータを用いて計算した、side jump機構によるスピホール伝導度 $\sigma_{SH\downarrow}^{SJ}$ [赤線]と、磁化 P [青線]の温度依存性。スピホール伝導度はT=300Kでの値で規格化している。磁化の定義はスピ分極率と同一で、
$$P = \frac{N^{\uparrow}(\epsilon_F) - N^{\downarrow}(\epsilon_F)}{N^{\uparrow}(\epsilon_F) + N^{\downarrow}(\epsilon_F)}$$
とした。

領域ニュース

平成27年度ナノスピ変換科学年次報告会

平成28年1月6日と7日の二日間にわたり、平成27年度年次報告会が開催されました。初日は東北大学原子分子材料科学高等研究機構（WPI-AIMR）本館2階セミナー室において、領域代表 大谷先生のご挨拶の後、A01班とA02班からの計画研究代表者の総括と班員各班2名の研究成果発表が行われました。今回は特別講演として、ユニバーシティーカレッジロンドンの紅林秀和先生をお招きし、「Spin-conversion effects using spin textures in momentum space」の題目でご講演いただきました。続いて、ポスターセッションが開催され、45件の発表が行われました。



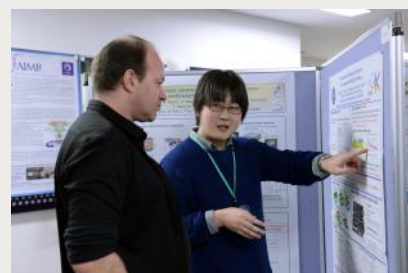
今回、スピントロニクス分野の将来を担う若手研究者の育成を目的として、学生を対象にポスター賞を設けました。今回は軽部修太郎氏、中川智裕氏、吉川貴史氏、荒川直也氏、千葉貴裕氏の5名が受賞されました。2日目は会場を、秋保温泉 緑水亭へ移し、A03班、A04班、A05班の研究成果発表が行われました。いずれの発表も、新学術領域の研究の進展をうかがわせる内容の濃いものばかりでした。2日間で総勢91名の方が参加しました。今回は同じ施設に皆が宿泊することで、2日間にわたり、新学術領域に集中して、現在とこれからの研究について十分に議論を交わすことができ、貴重な機会となりました。（文責：大岩顕）



大谷先生による領域代表挨拶



紅林先生による特別講演



ポスターセッションの様子

ナノスピ変換科学関西若手ワークショップ

平成27年4月15日に大阪大学豊中キャンパスシグマホールにおいて、ナノスピ変換科学関西若手ワークショップが開催されました。関西の当領域参画研究室をはじめ、京都大学、大阪大学、大阪市立大学の8研究室から、新年度の忙しい時期にもかかわらず87名の方にご参加いただきました。各研究室から1件ずつの口頭発表と、32件のポスター発表による成果発表が行われました。また招待講演として、理化学研究所の近藤浩太博士と東京大学物性研究所の宮町俊生先生にご発表いただきました。口頭発表後の質疑応答では、教授の先生方には質問を極力ご遠慮いただくという斬新な試みの結果、学生の参加者から活発に質問がなされ、若手ワークショップとして大変有意義な会となりました。（文責：木山治樹）



International workshop on novel photo induced phenomena and applications

A03班の塚本新先生は文部科学省の私立大学基盤形成支援事業の補助を受けて日本大学において「超短時間・光物質相互作用の理解・制御が切り開く新材料・物性・デバイスの探索と創生」（研究代表者 塚本新）を推進しています。このプロジェクトで組織した先端光作用研究ユニット（ALMIRU）が企画し、お茶の水の日本大学工学部駿河台キャンパスにて、平成28年11月11日と12日の二日間にわたり国際ワークショップ「International workshop on novel photo induced phenomena and applications」が、日本大学駿河台キャンパスにおいて開催されました。A03グループ海外協力研究者のオランダ国ラダバウト大学のTheo Rasing教授をKeynote Lecturerとして呼び、ナノスピン変換科学とも関連の深い、佐藤琢哉先生（A03班）、Joseph Barker先生（IMR）、橋本佑介先生（AIMR）他6名の招待講演、4件のメンバーによる研究報告をシングルセッションにて実施、ポスターセッションでは37件の発表が行われ、連日100名を超える研究者、学生が参加し、密な研究討論・交流を行いました。また、24件の学生発表からは全参加者投票にて4件のBest Poster Awardが選ばれ、A03班佐藤琢哉先生、塚本それぞれの指導学生も選ばれました。ちょうど御茶ノ水のギャラリーにて、佐藤勝昭先生の個展が開かれており、懇親会に駆けつけて頂くとともに、二日目は、会議終了後にTheo先生含め、ギャラリーへお邪魔する等、科学、芸術、教育、国際的同窓会等、大変有意義な会議となりました。（文責：塚本新）



9th International Conference on Physics and Applications of Spin-Related Phenomena in Solids (PASPS9)

PASPSは2000年に第一回から半導体スピントロニクス分野の発展に大きく貢献してきました。さらに前回から会議名の最後を、“in Semiconductors”から“in Solids”に変更し、金属など一層広範な領域を網羅しています。第9回目となる今回は神戸国際会議で、本新学術領域との共催で開催され、本領域からも多数の方にご参加いただき、総勢237名の参加者を数えました。Chicago大のDavid Awschalom教授、Minnesota大のPaul Crowell教授、Stuttgart大のJörg Wrachtrup教授らを基調講演に、その他、10名の著名な研究者を招待講演に招き、世界最先端の研究をご発表いただきました。暑い真夏の神戸で議論も白熱する一方で、バンケットでは神戸ビーフがふるまわれるなどアットホームな雰囲気の中、研究者交流も活発に行われていました。会議では11名の若手研究者にポスター賞が授与されました。次回PASPS10は2018年にオーストリアのリントで開催される予定です。（文責：大岩顕）



第10回物性科学領域横断研究会

平成28年12月9日と10日、神戸大学六甲台第2キャンパス神戸大学百年記念館において第10回物性科学領域横断研究会が開催され、スピナノ変換科学を代表して、大谷先生（東大/理研）、近藤先生（理研）、石井先生（金沢大）が発表を行いました。本領域からは今回3回目の参加となります。主に8つの新学術領域を中心に総勢137名の方が参加し、2日間にわたり広範な物性科学の最先端研究について活発な議論が交わされました。今回は、各領域でテーマを絞って議論を行う形式がとられ、集中した討議が行われました。本領域は「ラシュバ界面およびトポロジカル絶縁体表面状態を利用したスピン流・電流相互変換 - 実験と理論 -」について、大谷先生が趣旨説明をされた後、近藤先生と石井先生が、最近の成果をご発表されました。詳細は<http://www.org.kobe-u.ac.jp/ryoikioudan/> をご覧ください。来年はナノスピン変換科学が中心となって開催します。（文責：大岩顕）

International workshop on nano-spin conversion science & quantum spin dynamics 2016

ナノスピントロニクスと理化学研究所創発物質科学研究センター(CEMS)との合同で、「International workshop on nano-spin conversion science & quantum spin dynamics」を10月12日から15日まで、東京大学武田先端知ビル 武田ホールで開催しました。国外からスピントロニクス、量子技術、トポロジカル現象分野における世界トップレベルの招待講演者25名と、ナノスピントロニクスとCEMSを代表する国内13名の研究者が一堂に会し、最先端の研究成果を発表し、活発な議論を交わす貴重な会議となりました。前半2日に新学術領域のスピントロニクスに関連する講演が、後半2日にはCEMSの量子技術を中心とした講演が行われました。最近活発なトポロジカル現象に関連する講演は全日にわたり行われたことは印象的でした。4日間を通じて202名が参加し、研究者同士の交流を育む素晴らしい機会となりました。ポスターセッションでは若手研究者の奨励を目的としたポスター賞を設け、4名の研究者と学生がえらばれ、新学術領域からはA03班公募班 東京大学松尾先生のグループの黒山和幸君 (D1)と大谷研インターンシップ生 スペインnanoGUNE研究所 Edurne Sagastaさん(D1)が受賞しました。おめでとうございます。このように本ワークショップは、これらの分野が融合し、ますます活発に発展してゆくことを確信させる会となりました。会議を運営された関係者の方々に感謝いたします。(文責：大岩顕)

ホームページ <http://www.spinconversion.jp/nscs-qsd/>



International School on Spintronics and Spin-Orbitronics と Korea-Japan Spin-Orbit Workshop 2016

2016年 12月15,16日の2日間、『ナノスピン変換科学』からのご支援を頂き、福岡市にて、スピントロニクス・国際スクールを開催しました。本スクールは、応用物理学会のスピントロニクス研究会が長年にわたり実施しているスピントロニクス入門セミナーの一環でもあり、関係の先生方の豊富な経験もあったため、常にご助言を頂きながら、事前準備を行うことができました。今回は、福岡での開催ということで、韓国のスピントロニクス分野の研究者にも協力してもらい、韓国からの参加も積極的に募りました。幸いにも、非常に豪華な先生方から講演のご承諾を頂けたため、事前登録で150名を超える参加登録があり、総参加者は、164名（外国人63名）となりました。

1日半で9名の講師による講義（各1時間）を行い、ポスターセッションも組み込んだため、全体として、休憩時間や議論の時間が十分に取れず、時間的にタイトなプログラムとなってしまいました。加えて、ポスター発表の講演数も80件を上回り、内容は盛り沢山だったのですが、同一時間にすべての発表を実施し、予稿も作成していなかったため、興味のあるトピックスを探すのが難しかったと思われます。このように、色々と反省すべき点はございますが、全体としては、非常に素晴らしい講義の連続で、盛況のうちに閉幕できたと感じています。アンケートにおいても、このような国際スクールを頻繁に設けてほしいとの意見が多く寄せられました。今回は、韓国の研究者が参加しやすくするために、前日の12月14日～15日午前まで、Spin-orbit をテーマにした日韓Workshopも開催しました（こちらも当領域の共催）。日本側は本領域の研究者を主体にした10名の招待講演、韓国側もスピントロニクス分野で優れた成果を挙げている12名の研究者に講演をお願いしました。こちら、時間がタイトでしたが、非常にレベルが高い発表と議論が成され、日韓の交流が深まったと思われます。最後に、本スクールとワークショップには、スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワークの各拠点（東京大・慶応大・大阪大・東北大）にも共催に加わって頂き、様々な面でご支援を頂きました。ここに、お礼申し上げます。

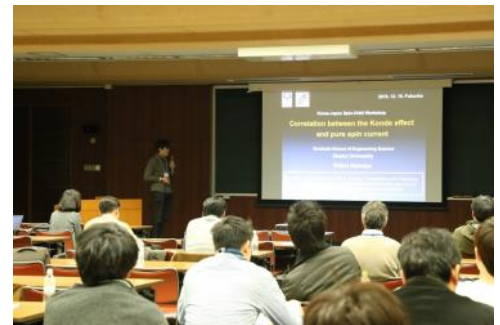
（文責：木村崇）



講義風景



スクール集合写真



ワークショップ風景

班内研究会報告

- A04班 インフォーマル討論会 平成28年1月9日(土) 東北大学金属材料研究所 4号館3階 302号室
- A05班 班内研究会 (※新世代研究所との共催) 平成28年3月4日(金) ガーデンパレス御茶ノ水
- A03班 第二回光学的スピン変換班ミーティング 平成28年3月28日(月) 大阪大学産業科学研究所
- A02班 班内研究会 平成28年4月13日(水) 東京大学本郷キャンパス
- A01班 班内研究会
平成28年4月18日(月) 九州大学 伊都キャンパス
平成28年4月19日(火) 九州大学 箱崎キャンパス

領域若手研究者紹介

このコーナーでは、本領域に新しく加わった若手研究者の方々を紹介します。

Pablo Borys

Postdoctoral Researcher

Spin physics theory research team, CEMS, RIKEN

I am a postdoctoral researcher working under the supervision of Professor Gen Tatara. It is extremely exciting that my first postdoc position is in vibrant Japan, working in a cutting edge topic as spin conversion. While my scientific background includes phonon-theory applied to III-V semiconductors and DFT on nano-fullerenes (BSc. and MSc., UNAM, Mexico), it was during my PhD at the University of Glasgow that I started working with spintronics phenomena. At the moment, I have two major goals with which I intend to contribute to the society. My main scientific aim is to theoretically find the optimal conditions under which the Dzyaloshinskii-Moriya interaction (DMI) can lead to the next generation of spintronic, or spin-orbitronic, devices. This is a continuation of previous work that described the effect of the DMI on spin waves in domain walls. On the other hand, my personal objective is to help raise my two-year old daughter, Odarka. I believe that successful results on both fronts can be decisive for the future.



Alejandro Osvaldo Leon Vega

Postdoctoral Researcher

Institute for Material Research, Tohoku University

Allow me to introduce myself as a new postdoc employed by the Nano Spin Conversion Science in the Bauer Group at the IMR, Tohoku University. My main research interests are in spintronics, in which spin and electric currents interact and produce intellectually challenging phenomena and technologically useful effects. The main goal of my postdoctoral project is to understand spintronic effects in materials containing heavy atoms, such as rare-earths. Those atoms exhibit properties that are different from lighter materials such as transition-metals because of large spin-orbit interactions. In this way, we hope to discover and engineer new physical properties and effects.

I obtained my PhD at University of Chile, far away from Japan. I am happy to become a member of Nano Spin Conversion Science project, as the starting point of an exciting scientific and cultural adventure.



スピン物性科学未踏開拓支援制度報告

東京大学 物性研究所 大谷研究室 博士課程1年 成田秀樹

新学術領域研究ナノスピン変換科学の若手研究者支援制度の援助を受け、東北大学金属材料研究所の齊藤英治教授の研究室に2016年4月11日から4月22日、11月2日から11月14日の計2回滞在させて頂きました。

滞在目的は、齊藤研究室で行われている磁場中熱電測定の手法を学びつつ、準備した試料の熱電特性について知見を得ることでした。普段馴染みのない測定を行うことができたのは大変勉強になり、研究の進め方に関しても学ぶべき点が多かったように思います。例えば、研究の進め方では測定試料の形状、測定範囲、測定時間等を考慮し、装置に工夫を凝らしながら如何に効率よく研究を進め、論文に結びつく成果を出すかということが第一に考えられており、研究者として大いに参考になりました。金属材料研究所は2016年に創立100周年を迎えたということもあり、所内を移動しながらその歴史と伝統を感じることができ、また恒例の金研の花見にも参加させて頂いたり、短期間ですが充実した有意義な研究生活を送ることができました。

このような貴重な機会を頂けたことに関しまして、関係される方々に深く感謝申し上げます。



★ スピン物性未踏開拓支援制度 若手交流支援をご活用ください

本領域では若手交流支援制度を推進しています。他の研究室で武者修行を積んでみたいと考えている学生の方、他の研究グループの技術や知識を活用することで成果が出そうな方、あるいは研究の幅を広げたいと考えている若手研究者の方、本制度を是非ご利用ください。詳細は領域ホームページ (<http://www.spinconversion.jp/act.html>)をご覧ください。



前川先生 古希のお祝い

東北大学 金属材料研究所 教授 齊藤英治

前川禎通先生の古希をお祝いする会が開催されました。ご紹介するまでもなく、前川先生はスピントロニクス理論や強相関電子物性領域の第一人者として、長年にわたり分野の発展を牽引されてこられました。数々の重要な理論的予言に留まらず、実験グループと一緒に新しい現象の開拓にご尽力され、このスタイルが日本の誇るスピントロニクス研究の文化の源流の一つになっていると思います。今回の「お祝いする会」でも、理論、実験両分野の現役研究者で会場のレストランは満席となり、前川先生ご夫妻を囲み大変楽しいひとときを過ごしました。先生の日頃のご指導に感謝するとともに、今後とも分野の発展のためにお力添え頂くようお願い申し上げます。



平成28年3月

永田 祐吾 東京農工大学 (A04班、公募研究)

第10回 (2016年) 日本物理学会若手奨励賞 ビーム物理領域

<http://www.jps.or.jp/activities/awards/jusyosya/wakate2016.php>

平成28年4月23日

中山 裕康 慶應義塾大学理工学部 (A03班、計画研究)

第15回 船井研究奨励賞 [公益財団法人 船井情報科学振興財団]

「スピン流-電流相互変換とスピンホール磁気抵抗効果に関する研究」

http://www.funaifoundation.jp/grantees/young_awardees_up_to_now_15.html

平成28年5月27日

安藤 和也 慶應義塾大学理工学部 (A03班、計画研究)

第37回 本多記念研究奨励賞 [公益財団法人 本多記念会]

「金属ヘテロ構造におけるスピン-電荷変換に関する研究」

<http://hondakinenkai.or.jp/awards/hresearch.html>

平成28年9月7日

関 剛斎 東北大学金属材料研究所 (A04班、計画研究)

平成28年度日本磁気学会 優秀研究賞

「規則合金スピントロニクスデバイスにおける機能性創出」

塚本 新 日本大学理工学部 (A03班、計画研究)

平成28年度日本磁気学会 優秀研究賞

「超短パルスレーザによる超高速磁化応答計測と制御に関する先駆的研究」

吉川 大貴 日本大学理工学部 (A03班、計画研究)

平成28年度日本磁気学会 学生講演賞 (桜井講演賞)

「全光型磁化反転の磁性層膜厚依存性」

<http://www.magnetics.jp/wp-content/uploads/H28hyou-2.pdf>

平成28年10月21日

松本 慧大 九州大学大学院理学研究院 (A03班、計画研究)

電子情報通信学会 磁気記録・情報ストレージ研究会 委員長賞

「光誘起後進体積静磁波、交換共鳴モードの時間分解イメージング」

<http://www.ieice.org/es/mr/jpn/>

平成28年11月12日

姫野 滉盛 九州大学大学院理学研究院 (A03班、計画研究)

International workshop on novel photo induced phenomena and applications, Best Poster Award

「Spin wave propagation in rare-earth iron garnet」

http://atlab.ecs.cst.nihon-u.ac.jp/WS_award.html

平成28年11月25日

中山 裕康 慶應義塾大学理工学部 (A03班、計画研究)

第5回 研究開発奨励賞 [一般財団法人 エヌエフ基金]

「磁気輸送測定を用いた新規スピン流測定手法の開発」

<http://www.nf-foundation.or.jp/award/list/2016/winner.html>

平成29年1月21日

上牧 瑛 東北大学原子分子材料科学高等研究機構、東北大学大学院工学研究科 (A03班、計画研究)

第21回講演奨励賞、応用物理学会東北支部

「80NiFe薄膜におけるレーザー励起スピン波の対称性と分散関係」

<https://annex.jsap.or.jp/tohoku/index212.html>

平成29年2月3日

村上 修一 東京工業大学大学院理工学研究科 (A05班、計画研究)

第33回井上学術賞、公益財団法人井上科学振興財団

「ベリー曲率の物理とトポロジカル絶縁体・トポロジカル半金属の理論研究」

<http://www.inoue-zaidan.or.jp/f-01.html>

領域からの連絡

◇ 領域ホームページをご活用ください <http://www.spinconversion.jp/>

- * 今後、成果発表やイベント情報など、様々な領域の情報を発信してまいります。是非ホームページを研究にご活用ください。
- * 領域メンバー専用ページから皆様の成果が入力できるようになっています。入力方法は簡単ですので、領域の広報活動の一環として論文など発表された際には、入力にご協力お願いいたします。

◇ 英語版成果紹介誌「Research highlights vol.2」を発行しました。

主に海外の研究者へ向けて、本領域から発表された論文をダイジェストで紹介しています。領域ホームページからダウンロード可能ですので、海外の研究者の方へ本領域のご紹介される際にお役立てください。

http://www.spinconversion.jp/rh/NSCS_Research_Highlights2.pdf

◇ スピン物性未踏開拓支援制度 若手交流支援をご活用ください

本領域では若手研究者の研究支援と領域内研究交流を目指して、若手交流支援制度を推進しています。領域内で共同研究を行ってみたい若手研究者の方、是非本制度をご利用ください。詳細は領域ホームページ (<http://www.spinconversion.jp/act.html>)をご覧ください。

◇ 国際活動支援班をご活用ください

本領域では国際活動支援班に採択され国際共同研究の推進や海外ネットワークの形成を支援しています。国際共同研究を推進するために海外へ学生やスタッフの派遣あるいは共同研究先から受け入れを検討されている方は、班長または領域代表にご相談ください。

◇ 謝辞について

本研究領域での成果による論文発表では以下のように謝辞を入れていただくようお願い申し上げます。

This work was supported by Grant-in-Aid for Scientific Research on Innovative Area,

"Nano Spin Conversion Science" (Grant No.###).

には、A01班は 26103002、A02班は26103003、A03班は26103004、A04班は26103005、A05班は26103006 が入ります。

編集後記

締め切りまであまり時間がない中、執筆された先生方には快くお引き受けいただき大変感謝しております。ありがとうございます！今回も何とか発行にこぎつけることができました。皆様が研究紹介を簡潔かつ明瞭に書いていただいているため、編集作業のために記事に目を通していただけ、自然と皆様の研究内容を理解することができ、私自身の勉強にも役立っています。また毎年、着実に領域での研究が進展していて、改めて皆様の研究活動に支えられていることも実感できます。今年度は中間評価が行われ、ナノスピ変換科学も後半戦に入ります。このニュースレターが、領域の研究内容やその動向、交流などをわかりやすく内外へお知らせすることで、新しい研究の芽を生み出すきっかけになればと期待しております。(文責：大岩頭)

新学術研究領域「ナノスピンの変換科学」研究体制

総括班

研究代表者	大谷義近	東京大学物性研究所・教授
研究分担者	齋藤英治	東北大学原子分子材料科学高等研究機構・教授
研究分担者	白石誠司	京都大学大学院工学系研究科・教授
研究分担者	村上修一	東京工業大学大学院理工学研究科・教授
研究分担者	大岩 顕	大阪大学産業科学研究所・教授
連携研究者	高梨弘毅	東北大学金属材料研究所・教授
連携研究者	前川禎通	日本原子力研究開発機構 先端基礎研究センター・センター長
学術調査官	小島 磨	神戸大学大学院工学研究科・准教授
学術調査官	安藤妙子	立命館大学理工学部・准教授

計画研究

A01：磁気的スピンの変換班

研究代表者	大谷義近	東京大学物性研究所・教授
研究分担者	木村 崇	九州大学大学院理学研究院・教授
研究分担者	松倉文礼	東北大学原子分子材料科学高等研究機構・教授
研究分担者	Ron Jansen	産業技術総合研究所ナノスピントロニクス研究センター・首席研究員
研究分担者	新見康洋	大阪大学大学院理学系研究科・准教授
連携研究者	小野輝男	京都大学化学研究所・教授
公募研究	谷山智康	東京工業大学応用セラミックス研究所・准教授
公募研究	三輪真嗣	大阪大学大学院基礎工学研究科 物質創成専攻・助教
公募研究	安 東秀	北陸先端科学技術大学院大学マテリアルサイエンス研究科・准教授

A02：電気的スピンの変換班

研究代表者	白石誠司	京都大学大学院工学系研究科・教授
研究分担者	浜屋宏平	大阪大学大学院基礎工学研究科・教授
研究分担者	勝本信吾	東京大学物性研究所・教授
研究分担者	斉藤秀和	産業技術総合研究所ナノスピントロニクス研究センター・半導体スピントロニクスチーム長
連携研究者	辛 埴	東京大学物性研究所・教授
公募研究	守谷 頼	東京大学生産技術研究所・助教
公募研究	大矢 忍	東京大学大学院工学系研究科 総合研究機構・准教授

A03：光学的スピンの変換班

研究代表者	大岩 顕	大阪大学産業科学研究所・教授
研究分担者	塚本 新	日本大学理工学部・教授
研究分担者	水上成美	東北大学原子分子材料科学高等研究機構・教授
研究分担者	安藤和也	慶應義塾大学理工学部・准教授
研究分担者	佐藤琢哉	九州大学大学院理学研究院・准教授
公募研究	松尾貞茂	東京大学大学院工学系研究科・助教
公募研究	佐藤 治	九州大学先端物質化学研究所・教授

A04：機械・熱的スピンの変換班

研究代表者	齋藤英治	東北大学原子分子材料科学高等研究機構・教授
研究分担者	小野正雄	日本原子力研究開発機構先端基礎研究センター・研究副主幹
研究分担者	高梨弘毅	東北大学金属材料研究所・教授
公募研究	畠山 温	東京農工大学大学院工学研究院先端物理工学部門・准教授
公募研究	能崎幸雄	慶應義塾大学理工学部物理学科・教授

A05：スピンの変換機能設計班

研究代表者	村上修一	東京工業大学大学院理工学研究科・教授
研究分担者	前川禎通	日本原子力研究開発機構 先端基礎研究センター・センター長
研究分担者	多々良源	理化学研究所 創発物性科学研究センター・チームリーダー
研究分担者	永長直人	東京大学大学院工学系研究科・教授／理化学研究所 創発物性科学研究センター・副センター長
研究分担者	Gerrit E. W. Bauer	東北大学金属材料研究所・教授
公募研究	Oleg A. Tretiakov	東北大学金属材料研究所・助教
公募研究	石井史之	金沢大学 理工研究域数物科学系・准教授
公募研究	宮原 慎	福岡大学 理学部 物理科学科・准教授
公募研究	小野田繁樹	理化学研究所 古崎物性理論研究室／創発物質科学センター・専任研究員

ナノスピンの変換科学 領域ホームページ : <http://www.spinconversion.jp/index.html>

[領域全般に関するお問い合わせ]

大谷 義近 (領域代表/A01班代表)
inquiry@spinconversion.jp

[領域事務に関するお問い合わせ]

白石 誠司 (領域事務担当/A02班代表)
jimuj@spinconversion.jp

[ホームページに関するお問い合わせ]

村上 修一 (広報担当/A05班代表)
webmaster@spinconversion.jp

[ニュースレターに関するお問い合わせ]

大岩 顕 (ニュースレター担当/A03班代表)
newsletter@spinconversion.jp

ニュースレターWG

大岩顕 (阪大)、三輪真嗣 (阪大)、守谷頼 (東大)、安藤和也 (慶應大)、高橋遼 (原研)