

戦略的創造研究推進事業 CREST
研究領域「次世代エレクトロニクスデバイスの創出
に資する革新材料・プロセス研究」
研究課題「電荷レス・スピン流の三次元注入技術を用いた超高速スピンデバイスの開発」

研究終了報告書

研究期間 平成21年10月～平成27年3月

研究代表者：木村 崇
(九州大学大学院理学研究院、教授)

§ 1 研究実施の概要

(1) 実施概要

本研究の目的は、電荷レス・スピンの流(純スピン流)の高効率生成技術、厚膜ナノ磁性体への三次元スピン注入技術、スピン偏極方向の高速変調技術を確立し、従来型スピン RAM の微細化限界を打破する革新的スピン注入磁化反転技術を開発することである。

研究グループは、巨大な純スピン流を生成するために、スピン生成源の多端子化を考案し、純スピン流最大値の向上、生成時の消費電力の低減を実証した。更に、純スピン流生成時の電流による発熱量を最小にする新奇なピラー型の純スピン流デバイスを提案し、生成端子の許容電流密度を大幅に向上させることで、より巨大な純スピン流の生成を実現した。また、室温ハーフメタル(完全スピン偏極)特性が期待されるホイスラー合金を第一原理バンド計算により理論的に予測し、特定の規則構造の重要性を指摘した。そして、それらの高スピン偏極ホイスラー合金薄膜を実現するために、格子定数の近い Si(111)面上に、目的の構造を高い規則度で成長する低温 MBE 成膜技術を確立した。それらの薄膜のダンピング定数の評価手法を確立し、得られた知見からスピン偏極率を算出した。その後、高スピン偏極率が期待できるホイスラー合金薄膜を用いて純スピン流デバイスを試作することで、純スピン流の生成効率が従来素子に比べ一桁以上向上することを明らかにした。これらの技術開発により、従来のスピン注入技術では実現不可能な巨大スピン流を高効率で生成する技術を確立すると共に、厚膜ナノ磁性体の磁化反転に成功した。

また、高効率なスピン注入における、もう一つの重要因子であるスピン吸収の最適化に関して、純スピン流の拡散伝導を考慮した独自のシミュレータを開発し、効率的なナノ磁性体の磁化反転のための最適な純スピン流注入法の理論予測などを可能にした。更に、ナノ磁性体への純スピン流吸収効果を系統的に調べ、厚膜ナノ磁性体においては、側面が上面に比べて有効な吸収面であることを実験的に明らかにした。また、強磁性体がスピン流を吸収する際、スピン流の量子化軸が強磁性体の磁化方向に対して、平行・反平行に配向している場合(縦スピン流)に比べ、垂直に配向している場合(横スピン流)に、より効率的なスピン流吸収が生じることを実験的に初めて明らかにした。更に、発熱を最小限に抑えることが可能な純スピン流生成構造を開発し、同技術を超伝導体への純スピン注入実験へと高度化することで、電流にとっては完全導体である超伝導体が、スピン流にとっては絶縁体となることを実験的に明らかにした。

次に、スピン流の高速変調に関して、前述のシミュレータを用いて、純スピン流の量子化軸を磁化の歳差運動に合わせて変調することで、高速な磁化反転が実現できることを実証した。また、純スピン流注入により、ナノ磁性体に誘起される磁化ダイナミクスを検出可能にする新奇実験手法を考案し、純スピン流注入によるダンピング変調効果を実証した。これらの相対角度依存性、スピン偏極率依存性に関しては、現在も研究を実施中である。

最後に、上記の要素技術を結集した、革新的スピン注入磁化反転技術をスピン RAM の書き込み技術として適用するための集積化レイアウトを考案し、生成端子を別に設けた場合でも、同じ記録密度での書き込み電力が、従来型に比べ低減できることを定量的に示した。また、これらを具体的に実現するためのプロセス技術の一つとして、同一基板上に、異種のホイスラー合金電極で構成される純スピン流デバイスの作成技術を開発し、その性能の高さを実証した。また、電流を必要としない新しい純スピン流生成手法として、熱スピン注入現象に着目すると共に、CoFe 系の合金を用いて、これまでの報告より2ケタ大きなスピン信号の観測に成功した。

このように、スピン流の巨大化や変調など、純スピン流の特徴を最大限活かした新奇な生成・制御技術を開発し、更にその高効率化も達成した。これらの特性は、スピンデバイスを動作させるうえで、様々なアドバンテージが期待され、純スピン流の実用化に大きく貢献したと考えられる。

(2) 顕著な成果

<優れた基礎研究としての成果>

1. 縦スピン流と横スピン流におけるスピン吸収効果の比較 (成果論文 50)

概要:

強磁性体がスピン流を吸収する際、スピン流の量子化軸が強磁性体の磁化方向に対して、平行・反平行に配向している場合(縦スピン流)に比べ、垂直に配向している場合(横スピン流)に、より効率的なスピン流吸収が生じることを実験的に初めて明らかにした。

2. 同一基板上への異種ホイスラー合金薄膜の成膜及びそのデバイス化(成果論文 26)

概要:

Si(111)面をテンプレートとして、格子定数の近い CoFeAl と Fe₃Si の単結晶二層薄膜を成膜し、微細加工したドット列の一部をイオンミリングにより選択的にエッチングすることで、スピン生成端子にスピン偏極率が大きい CoFeAl 電極、反転層にダンピング定数が小さい Fe₃Si を有する異なる単結晶ホイスラー合金電極で構成される純スピン流デバイスの作製に成功した。

3. 超伝導体の純スピン流に対する絶縁性の確認(成果論文 9)

概要:

発熱を最小限に抑えることが可能な純スピン流生成構造を開発し、同技術を超伝導体への純スピン注入実験へと高度化することで、電流にとっては完全導体である超伝導体が、スピン流にとっては絶縁体となることを実験的に明らかにした。

<科学技術イノベーションに大きく寄与する成果>

1. 生成源の多端子化による巨大純スピン流の生成(成果論文 38、50)

概要:

横型スピンデバイス構造の特徴を活かしたスピン生成源の多端子化を提案し、実際に、4端子スピン生成源を有するスピンデバイスを試作することで、生成純スピン流の最大値が4倍化、また、消費電力が1/4倍化となることを実証した。

2. ホイスラー合金電極を用いた高効率純スピン流の生成(成果論文 52、53)

概要:

Si(111)面をテンプレートとした高品質薄膜ホイスラー合金薄膜成長技術を確立した。更にその薄膜をスピン生成源とした横型スピンバルブ素子を試作することで、純スピン流の生成効率の飛躍的改善に成功した。得られた生成効率は20%を上回り、これまでにあった報告に比べ、一桁以上改善した。

3. CoFe系合金を用いた熱による高効率純スピン流の生成(成果論文 3)

概要:

CoFeAl合金では、上向きスピンと下向きスピんでゼーベック係数の符号が異なることを見出し、更に、この特性を利用することで、強磁性体を加熱することで、電流を流すことなく極めて効率的に純スピン流を生成できることを見いだした。さらに、同手法をデバイスに組み込むことで、これまでの報告よりも2桁以上大きなスピン信号の取り出しに成功した。

§2 研究実施体制

(1) 研究チームの体制について

① 木村グループ(九州大学)

研究参加者

	氏名	所属	役職	参加時期
○	木村 崇	九州大学大学院 理学研究院	教授	H21.10～H27.3
	家形 諭	福岡工業大学 工学部	助教	H22.4～H27.3
	山田 和正	九州大学大学院 理学研究院	助教	H25.4～H27.3
	大西 紘平	九州大学大学院 理学研究院	助教	H25.9～H27.3
*	Saidur Bakaul	九州大学 稲盛研究センター	学術研究員	H24.2～H24.9
*	中田 一紀	九州大学 稲盛研究センター	学術研究員	H23.4～H25.3
*	権丈 淳	九州大学 稲盛研究センター	テクニカルスタッフ	H22.4～H27.3
*	野々口 誠二	九州大学システム情報科学府	B4～M2	H21.10～H24.3
*	宮田 真彦	九州大学大学院 理学府	M1～2	H22.4～H24.3
	鬼石 宏平	九州大学システム情報科学府	M1～2	H23.4～H25.3
	胡 少杰	九州大学システム情報科学府	D1～3	H23.10～H27.3
	崔 曉敏	九州大学システム情報科学府	D2～3	H26.4～H27.3
	党 ケイシン	九州大学大学院 理学府	M1～2	H24.4～H26.3
	野村 竜也	九州大学大学院 理学府	M1～D1	H24.4～H27.3
*	日出柄 誠	九州大学大学院 理学府	D1	H26.4～H27.3
*	山野井 一人	九州大学大学院 理学府	D1	H26.4～H27.3
	川北 直史	九州大学大学院 理学府	M1	H26.4～H27.3
	小野 雄馬	九州大学大学院 理学府	M1	H26.4～H27.3
	高以来 優	九州大学大学院 理学府	M1	H26.4～H27.3

研究項目

- ・ 多端子スピン生成技術による三次元巨大スピン流の生成
- ・ 三次元巨大スピン流注入による厚膜磁性体の磁化反転の実証

②能崎グループ(慶応義塾大学)

研究参加者

	氏名	所属	役職	参加時期
○	能崎 幸雄	慶応義塾大学 理工学部	准教授	H21.10～H27.3
	関口 康爾	慶応義塾大学 理工学部	専任講師	H23.10～H25.3
*	細野 一弘	慶応義塾大学 理工学部	学術研究員	H23.1～H24.3
	笠谷 雄一	慶応義塾大学 理工学部	M1～D3	H22.4～H27.3
	後藤 穰	慶応義塾大学 理工学部	D1～2	H25.4～H27.3
	畑 拓志	慶応義塾大学 理工学部	M1～2	H22.4～H24.3
	小林 尚史	慶応義塾大学 理工学部	M1～2	H23.4～H25.3
	川上 達彦	慶応義塾大学 理工学部	M1～2	H23.4～H25.3
	柿塚 悠	慶応義塾大学 理工学部	M1～2	H22.4～H24.3
	佐藤 奈々	慶応義塾大学 理工学部	B4～D1	H22.4～H27.3
	児玉 基	慶応義塾大学 理工学部	M1～2	H22.4～H24.3
	石田 尚子	慶応義塾大学 理工学部	B4～D1	H22.4～H27.3
	柳澤 翔吾	慶応義塾大学 理工学部	B4～M1	H25.4～H27.3
	棚澤 友幾	慶応義塾大学 理工学部	B4～M1	H25.4～H27.3
	渡辺 翔	慶応義塾大学 理工学部	B4～M1	H25.4～H27.3

研究項目

- ・ 合成スピン流方向の高速変調技術の確立
- ・ スピントルクの最適化による低電力・高速磁化反転技術の開発

③宮尾(浜屋)グループ(九州大学(大阪大学))

研究参加者

	氏名	所属	役職	参加時期
	宮尾 正信	九州大学システム情報科学院	特任教授	H21.10～H27.3
○	浜屋 宏平	大阪大学大学院 基礎工学研究科	教授	H21.10～H27.3
	笠原 健司	九州大学システム情報科学府	M2～D3	H21.10～H25.3
	榎本 雄次	九州大学システム情報科学府	M2	H21.10～H22.3
	山本 健士	九州大学システム情報科学府	M2	H21.10～H22.3
	山根 一高	九州大学システム情報科学府	M1～2	H21.10～H23.3
	村上 龍彦	九州大学システム情報科学府	M1～2	H21.10～H23.3
	橋本 直樹	九州大学システム情報科学府	M1～2	H22.4～H24.3
	前田 雄也	九州大学システム情報科学府	M1～2	H22.4～H24.3
	山田 晋也	九州大学システム情報科学府	D2～3	H23.4～H25.3
	沖 宗一郎	九州大学システム情報科学府	M1～D2	H23.4～H27.3
	真崎 紘平	九州大学システム情報科学府	M1～2	H23.4～H25.3
	谷川 昂平	九州大学システム情報科学府	M1～2	H24.4～H26.3
	河野 慎	九州大学システム情報科学府	M1～D1	H24.4～H27.3
	藤田 祐一	九州大学システム情報科学府	M1～D1	H24.4～H27.3
	平山 純也	九州大学システム情報科学府	M2	H25.4～H26.3
	山崎 賢人	九州大学システム情報科学府	M1	H26.4～H27.3
	東 英実	九州大学システム情報科学府	M1	H26.4～H27.3
	黒川 孝幸	大阪大学大学院 基礎工学研究科	M1	H26.4～H27.3

研究項目

- ・ 高品質強磁性フルホイスラー合金の MBE 成長技術の確立
- ・ プレーナー素子構造用サブミクロン微細加工技術の確立

④伊藤グループ(関西大学)

研究参加者

	氏名	所属	役職	参加時期
○	伊藤 博介	関西大学 システム理工学部	教授	H21.10～H27.3
	本多 周太	筑波大学 数理物質系	助教	H22.4～H23.10
*	古川 貴弘	関西大学 理工学研究科	M1～2	H25.4～H27.3

研究項目

- ・ スピン注入磁化反転の計算機シミュレーション
- ・ ホイスラー合金等ハーフメタルの電子状態の計算機シミュレーション

(2)国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について

代表者が所属する新世代研究所スピントロニクス研究会、学振151委員会などを通じて、広い視点に立った情報収集、及び成果の広報活動を続けている。また、H26年度からは、スピン変換なる新学術領域研究（代表：大谷義近教授（物性研））も立ち上がり、引き続きスピン流の基礎物性研究を掘り下げていく。産業界からもより注目されるべく、研究を展開していきたい。国際的には、ドイツ・マインツ大学と超高率純スピン生成に関する研究、中国・精華大学と熱スピンに関する研究、シンガポール・南洋工科大と酸化物スピン生成に関する研究、インドグループとは半導体スピン注入に関する研究などに関連の共同研究を進めており、より発展した成果を目指している。

§ 3 研究実施内容及び成果

3.1 多端子スピン生成による巨大スピン流の生成 (九州大学 木村グループ)

(1)研究実施内容及び成果

従来型のスピンデバイスは、強磁性トンネル接合で構成されており、許容電流密度は、大きい場合でも 10^7 A/cm^2 以下である。そのため、デバイスの微細化に伴い、素子に通電できる電流の総量が著しく小さくなり、スピンデバイス動作の要であるスピン流も必然的に小さくなってしまふ。強磁性/非磁性メタリック接合を用いることで、許容電流密度が向上するが、スピン流の生成効率が小さくなるため(図 3-1)、大きなスピン流を生成するためには、改善が必要である。

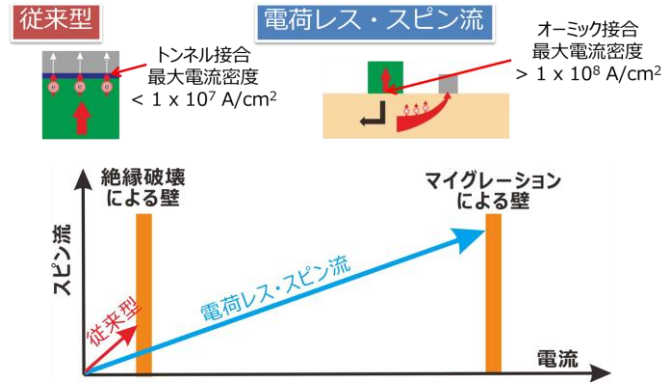


図 3-1. 従来型スピン注入法と電荷レス・スピン流法における生成スピン流限界

本研究項目では、横型スピンデバイス構造の柔軟性を利用した『スピン生成源の多端子化』と純スピン流の特徴である『スピン流の合成技術』を実現し、生成スピン流の限界を打破、及び巨大スピン流の創出を目指した。

試料の模式図と SEM 写真を図 3-2(左)に示す。強磁性層は多結晶のパーマロイ合金(Py)、非磁性層は多結晶 Cu 細線からなり、電子線描画とリフトオフ法により作製した。ここで、強磁性/非磁性金属の界面は、低加速イオンビームを用いて極清浄化している。本素子を用いて、横型スピンデバイス構造の柔軟性を利用した『スピン生成源の多端子化』と純スピン流の特徴である『スピン流の合成技術』を実現し、生成スピン流の限界を打破、及び巨大スピン流の創出を行う。純スピン流は電流レスのため、無駄なジュール熱が発生しないが、純スピン流を生成するためには、生成源に電流を流す必要がある。スピン流の生成量は、生成源に流す電流に比例するが、生成源には許容電流値が存在するため、スピン流の生成量にも限界が現れる。更に、許容電流値の近傍では、高い電流密度により、生成源自身が発熱するため、生成効率が低下する。一方で、生成源を多端子化し、各生成源から発生するスピン流を合成すれば、生成スピン流の限界値の増大、及び、分流による生成効率の改善等の効果が期待できる。

まず、多端子スピン生成の優位性を実証するために、各生成法におけるスピン信号の比較を行った。図 3-2(右)は、単一端子スピン生成と4端子スピン生成、2つの生成法におけるスピン信号の比較である。低電流領域においては、どちらの生成法においても、ほぼ同じ大きさのスピン信号が観測されている。このことは、電流に対するスピン流の生成効率が同じであることを意味している。しかし、消費電力で考えた場合、本生成法における主たる消費電力は、抵抗率が高い生成源でのジュール損失であるため、電流を各端子 $1/4$ に分配した場合、単端子のジュール損失と比べ、 $1/4$ 倍に低減することが分かる。

次に、総電流 2mA を流した際のスピンの信号を比較する。単一端子生成においては、電流密度が許容値に近い為、生成源が発熱し、スピン信号の大きさが、低電流時と比較して、約半分に低下している。一方で、4端子生成においては、スピン信号の大きさは、低電流時と比べて、殆ど変化していない。これは、電流が分流された為、各端子の発熱が抑制されたためである。

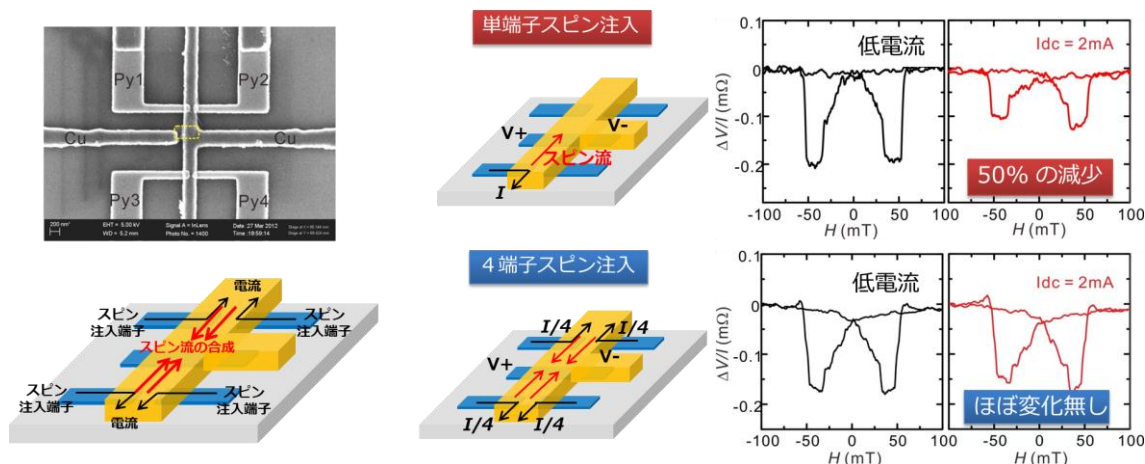


図 3-2. (左) 4つのスピン生成源を有する横型スピバルブ素子のSEM像とその模式図。(右) 単端子スピン注入、及び4端子スピン注入下のスピン信号のバイアス電流依存性。

このように、多端子スピン生成法の優位性として、消費電力の低減と生成源の発熱の抑制の2点を実証した。多端子スピン生成法により生成スピン流の最大強度を、どの程度向上させることが可能かを考察するために、各生成法における生成スピン流の注入電流依存性を調べた。その結果を、図 3-3 に示す。図で見られるように、生成端子数の増加に伴い、スピン流の最大生成量の増大が確認できる。このように、多端子スピン生成は、巨大スピン流を低消費電力で生成するうえで、極めて有効であることが分かった。

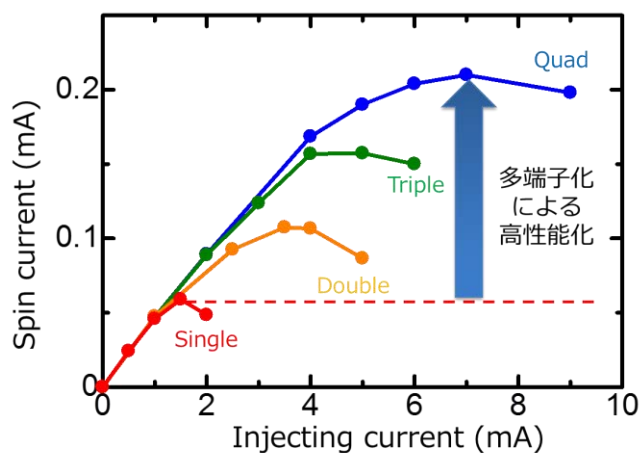


図 3-3 各種スピン生成法における生成スピン流量の比較。

本実験においては、ほぼ計画通りの成果を得ることができた。更なるスピン流の生成量の増大に向けては、強磁性生成端子の膜厚を増大させ、許容電流値を増大させるなどの手法も考えられるが、実際のデバイス化された素子において、あまりに大きな電流を用いることは、あらゆる電子デバイスにとって好ましくない。生成端子の更に増やす配置を検討して、更に電流を分流する方法が、消費電力の観点から、有効になると考えられる。

3.2 巨大スピンの注入による厚膜磁性体の磁化反転の実証 (九州大学 木村グループ)

(1) 研究実施内容及び成果

従来型スピンドバイスにおける電流重畳型のスピンの注入では、電流による発熱や電流誘導磁界により、磁化反転可能な磁性体の膜厚に限界があった。この膜厚制限のため、熱擾乱耐性の低下による微細化限界が存在する。本研究では、純スピンの電流レスの特徴を用いて巨大純スピン流を注入し、従来型スピン注入では困難であった厚膜ナノ磁性体の磁化反転を実現する。

純スピンの巨大化を最優先に行うため、図 3-4 に示すようなナノピラー形状をベースとした純スピン流生成デバイス構造を作製した。前項目において記載したように、スピンの供給源となる電流量を制限するのは生成源の発熱であり、より大きなスピン流を生成するためには、生成源の発熱を以下に抑制するかが鍵である。本素子では、電流が生成源を流れる距離は、数十 nm と極めて短くすると同時に、非磁性層を二次元薄膜化して、電流による発熱の抑制を行った。このため、許容電流密度が、従来の横型スピバルブ素子よりも向上することが期待され、それに付随して、生成可能なスピン流量の増大も期待できる。

図 3-5 に、ナノピラー型純スピン流デバイスのスピン信号を示す。図に示すように、平行、反平行状態に対応する明瞭なスピバルブ効果が、室温、及び 77K の両温度において明瞭に観測されており、本素子構造においても、有効に純スピン流が生成・吸収されているのが確認できる。更に、本構造における許容電流量の向上を実証するため、スピン信号のバイアス電流依存性を評価した(図 3-5(c))。比較のために、従来型の横型スピバルブ素子の結果も同時に示している。図において、横軸は、注入接合面における電流密度、縦軸は、各バイアス時のスピン信号を低バイアス時のスピン信号で規格化した値に対応している。縦軸の値が1に近いほど、発熱による信号強度の低下を抑制していることを意味している。ここで、縦軸が 0.7 となる(スピン信号が 30%低下する)電流密

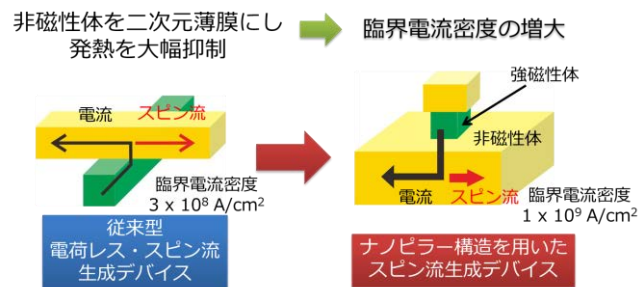


図 3-4. ナノピラー構造を用いた巨大電荷レス・スピン流生成

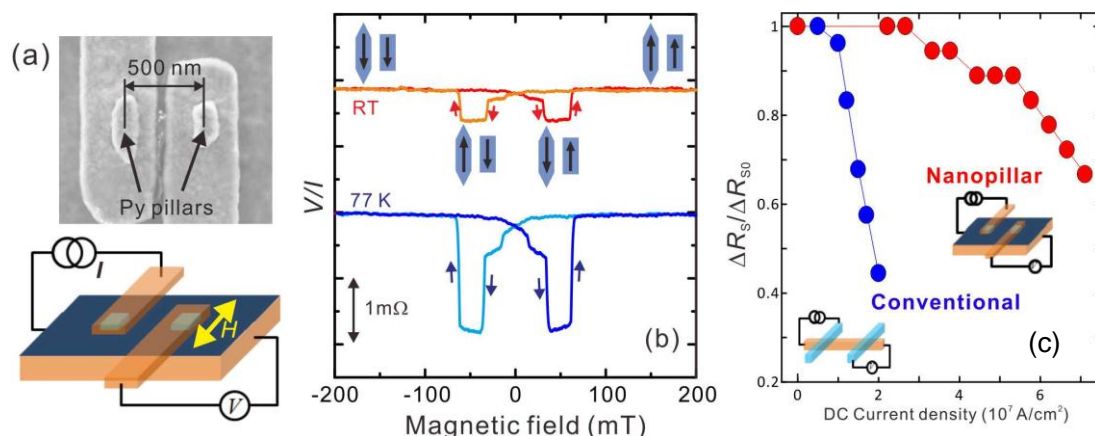


図 3-5. (a) 試作したナノピラー型純スピン流デバイス (b) 観測された非局所スピン信号 (c) ナノピラー型と従来型の許容電流密度の比較

度を J_c とすると、1.5 から 7.5 へと、約5倍向上していることが確認でき、本構造が巨大スピンの生成に向けて、適した構造であることが実証できた。

開発したナノピラー構造が、巨大純スピン流を生成できることが確認できたので、本項目の最終目的である厚膜ナノ磁性体の磁化反転実験を行った。図 3-6(左)に、純スピン流磁化反転実験に用いた試料の SEM 写真とスピン信号測定端子配置を、図 3-6(右) に本素子で得られたスピン信号を示す。強磁性層 Py の膜厚は 20nm である。本素子に置いて、2つの磁性体の磁化方向を平行配置にして、電流端子の電流強度を

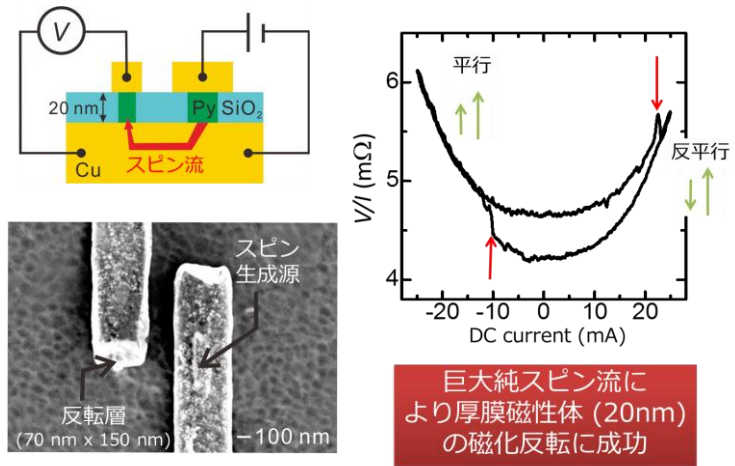


図 3-6. ナノピラー構造における巨大純スピン流を用いた厚膜ナノ磁性体の磁化反転の実証

変化させながら電圧を測定したところ、+22mA において、反転層の磁化反転し、磁化配置が反平行になったことを示す急峻な負の抵抗変化が観測された。更に、反平行状態を維持したまま、注入端子の電流をゼロまで戻し、負方向の電流を増大させていくと、-10mA で、磁化配置が平行に戻ったことを示す正の抵抗変化が観測された。これらの結果は、純スピン流注入により反転層に作用するスピントランスファートルクで説明することが可能である。また、同様の現象を、複数の素子で観測することに成功しており、ナノピラー構造を用いた巨大純スピン流注入により、厚さ 20nm の厚膜ナノ磁性体の磁化反転に成功した。

3.3 スピン流の三次元吸収効果による注入効率の向上 (九州大学 木村グループ)

(1) 研究実施内容及び成果

熱擾乱耐性向上のために厚膜化したナノ磁性体においては、これまでのようにスピン吸収面を上面の1面のみとするのではなく、側面をも利用した多方面からのスピン注入が有効であると考えられる。そこで、本研究項目では、厚膜ナノ磁性体を非磁性体中に埋め込むことで、スピン流の吸収面を増やし、スピン吸収効率の向上を目指す。

本研究テーマは木村 Gr が担当し、得られた結果を伊藤 Gr にフィードバックして、数値計算プログラム設計に有効に活用した。スピン吸収効率の評価は、木村 Gr がこれまでに開発しているスピン信号の強度変化から評価した。図 3-7 に示すような、横型スピバルブを準備し、スピン信号を測定する。ここで、スピン吸収

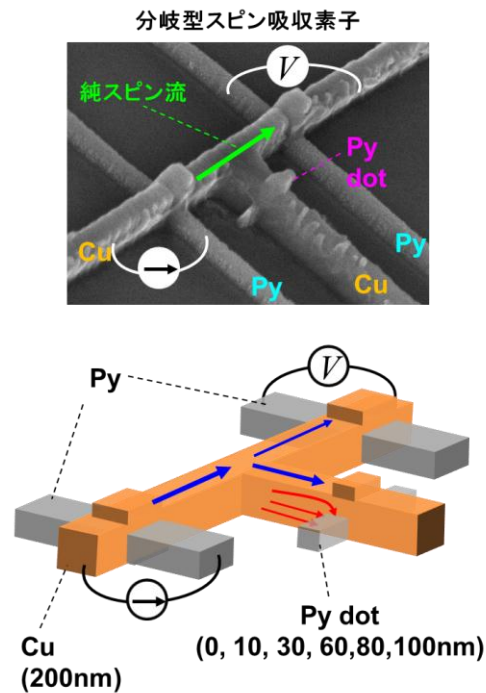


図 3-7. 厚膜ナノ磁性体のスピン吸収実験に用いたデバイス構造の SEM 像と模式図

を引き起こす Py ナノドットを図の位置に配置すると、非磁性体中を流れていたスピン流の一部が、Py ドットに吸収される。その結果、電圧端子で検出されるスピン信号が減少する。本研究項目では、吸収体である Py ドットの膜厚を変化させた際のスピン吸収特性の変化を調べた。

図 3-8(b)に、Py ドットが無い場合、及び厚さ 30nm、及び 100nm の Py ドットを配置した場合のスピン信号を示す。ドットの配置によるスピン信号の減少が明瞭に観測されており、スピン吸収効果

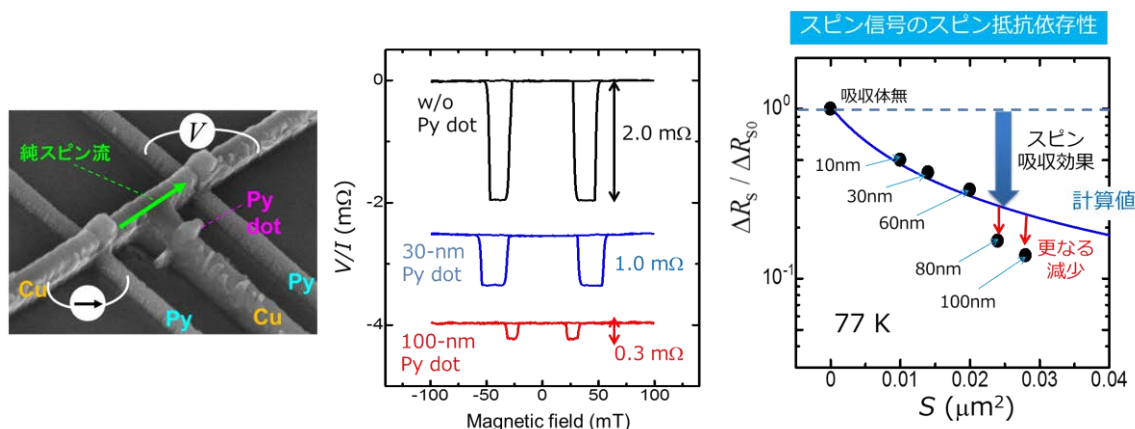


図 3-8. (a) 厚膜ナノ磁性体によるスピン吸収効果に用いた素子の SEM 像 (b) ドット無、及び膜厚 30nm と 100nm の Py dot を配置した際のスピン信号 (c) スピン信号のドット膜厚依存性

の存在が確認できる。図(c)は、Pyドットの膜厚を0~100nm まで変化させた場合のスピン信号の変化を示す。Pyドットの厚膜化と共に、スピン信号が単調に減少しており、側面の面積増大がスピン吸収効率の増大に効果的に機能していることが確認できる。この膜厚依存性を定量的に理解するために、1次元スピン拡散モデルを用いて、スピン吸収によるスピン信号の減少率を計算した。ここで、ドットの膜厚増大は、側面の面積の増大として考慮している。図に示すように、スピン信号の減少を概ね再現することに成功しており、側面スピン吸収効果を定量的に理解することができた。しかし、膜厚が 80nm より厚い領域では、計算値を上回る信号の減少が観測された。の原因に関しては、一次元モデルからのずれによるものが候補として考えられるが、それ以外の要因として、拡散伝導からのズレも検討している。

本実験において、厚膜のスピン吸収体では、側面スピン吸収効果により、吸収効率が計算値よりも大きくなる現象が観測された。このずれの起源に関して、スピン流の拡散伝導からのずれを検討している。図 3-9 に示すように、吸収体の磁性体ドットの膜厚が薄い場合、スピン流が吸収されるためには、スピン流の流れの方向を変える必要がある。一方で、吸収体の膜厚が厚い場合は、スピン流は流れる方向を変えずに吸収体に注入されることが可能であるため、厚膜時の吸収効率の向上は、スピン流の流れ方に起因していると考えている。このように厚膜化することで、想定以上のスピン吸収効率が得られることは、低電力磁化反転に有効であり、厚膜ナノ磁性体への3次元注入法は、熱擾乱耐性のみならず、低電力化にも有効であると期待できる。

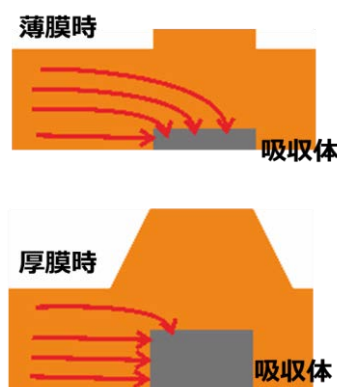


図 3-9. 吸収体の膜厚変化に伴うスピン流吸収効率の変化

3.4 横スピン流を用いたスピン吸収効率の向上(九州大学 木村グループ)

(1)研究実施内容及び成果

これまで、スピン吸収の実験は、磁化とスピン流の向きが平行、及び反平行の配置でのみ実験されていた。しかし、最近のスピン流理論の発展により、スピン流の吸収強度は、磁性体の磁化とスピン流のスピンの方の相対角に依存することが指摘されている。これは、注入されるスピンの向きと吸収する強磁性体の磁化の向きが平行(反平行)な縦スピン吸収と注入されるスピンの向きと吸収する強磁性体の磁化の向きが垂直な横スピン吸収による縦スピン緩和(緩和長)と横スピン緩和(侵入長)の長さを比較した場合、横スピン緩和長の方が短いと理論的に予言されているためである。(図 3-10)

スピン吸収の効率はスピン緩和長に反比例するため、緩和長の短い横スピン吸収を用いることでスピン吸収効果の増大が期待できる。従って、横スピン流を用いることで、より効率的な純スピン流磁化反転が可能になると考えられる

横スピン流による吸収効率の増大を調べるために、図 3-11(a) に示すような V 字型注入端子と検出端子の間に中間強磁性体細線を挿入した素子を作製した。この試料において、図のように磁界を印加すると、高磁界中ではどちらの磁性体も同方向に磁化するため、縦スピン吸収が生じる。しかし、ゼロ磁界においては強磁性体の形状磁気異方性から、スピン吸収体は磁化容易軸である長軸方向(縦)に磁化されるが、V 字型細線はその先端方向の磁化を維持したままの状態になることが考えられる。このとき、V 字型先端部にのみ非磁性細線を接合させると、横方向のスピン流が生成されスピン吸収体においては横スピン吸収が生じる。従って、V 字型注入源を用いることで、同一素子において両方向のスピン吸収効率の比較が可能となる。

図 3-12 に、スピン信号の測定結果を示す。ここで中間細線の挿入によるスピン吸収効果により、スピン信号が激減しているのが確認できる。次に、縦スピン吸収と横スピン吸収の差に注目すると、前述したように、強い磁界を加えた際は、縦スピン吸収の領域であり、ゼロ磁界になったときに横スピン吸収の領域である。図をみると高磁界からゼロ磁界への磁界スイープ過程で、縦軸の値が約 0.15 mΩ から約 0.06 mΩ に減少していることが分かる。この抵抗の差が縦スピン吸収と横スピン吸収の差であり、横スピン吸収時におけるスピン信号大きさは縦スピン吸収時の約 60%に減少して

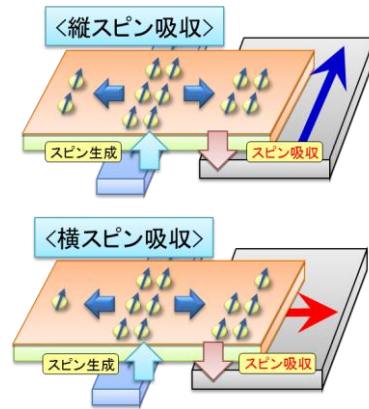


図 3-10. 縦スピン吸収と横スピン吸収の概念図

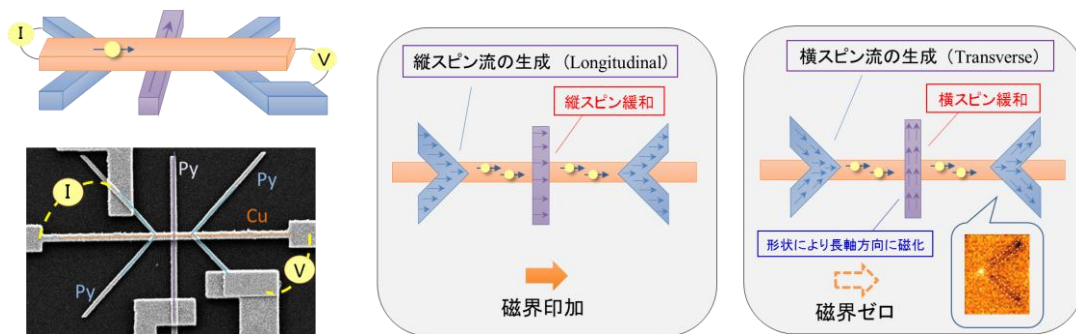


図 4.11 縦スピン吸収と横スピン吸収を同一素子で比較するために試作した V 字型磁性細線で構成される横型スピンバルブ素子。

いるのが確認できる。この差から、縦スピン緩和長と横スピン緩和長の比を見積もり、縦スピン流に対するスピン抵抗と横スピン流に対するその比を見積ると 0.3 となった。また、Py 以外の他の強磁性体においても、同様の増大が観測され、横スピン流の効果が確認できた。このように、横スピン流を用いることで、生成したスピン流を効率的に吸収させることが可能であることが分かった。

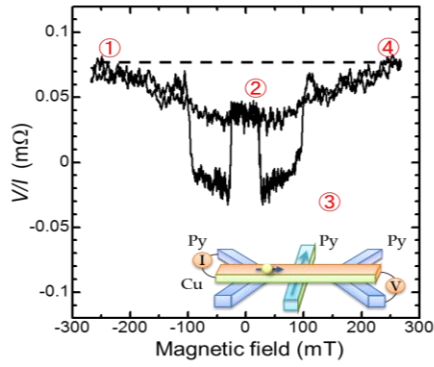


図 3-12. V 字型磁性細線で観測されるスピン信号

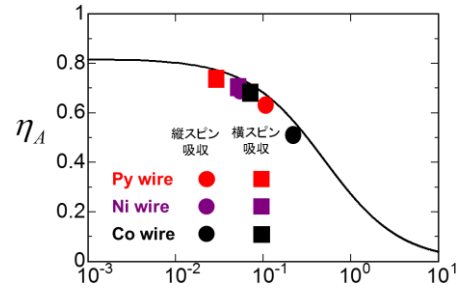


図 3-13. 各種強磁性体における縦スピン、横スピンの吸収効率

3.5 三次元スピンの注入による磁化反転過程の計算機シミュレーションと高速変調スピン流による磁化反転の高速化(関西大学 伊藤グループ)

(1) 研究実施内容及び成果

純スピン流の特有の伝搬機構を取り入れた3次元マイクロマグネティクスシミュレータを開発し、厚膜ナノ磁性体を効率的、且つ高速に磁化反転させるための純スピン流注入法、及びデバイス最適構造を、計算機シミュレーションにより設計する。

本研究項目は、伊藤 Gr が主担当であるが、素子構造等に関しては、木村 Gr や能崎 Gr と綿密に打ち合わせしながら進めた。LLG 方程式にスピトルクを考慮したマイクロマグネティクスシミュレーションを純スピン流特有の伝導特性を考慮したプログラムに拡張し、スピン流の向き、多方向注入、スピンの変調などの条件を自由自在に設定可能な柔軟性の高いシミュレータを独自に開発した。このシミュレータを用いて、多端子スピン注入の有効性、及び厚膜ナノ磁性体における側面スピン注入の有効性を検証した。更に、高速磁化反転に向けたスピン注入法に関する提案も行った。ここで、スピン流の強度として、 $u(\text{m/s})$ を用いているが、 $1(\text{m/s})$ が $7.4 \times 10^5 (\text{A}/\text{cm}^2)$ のスピン流密度に対応している。

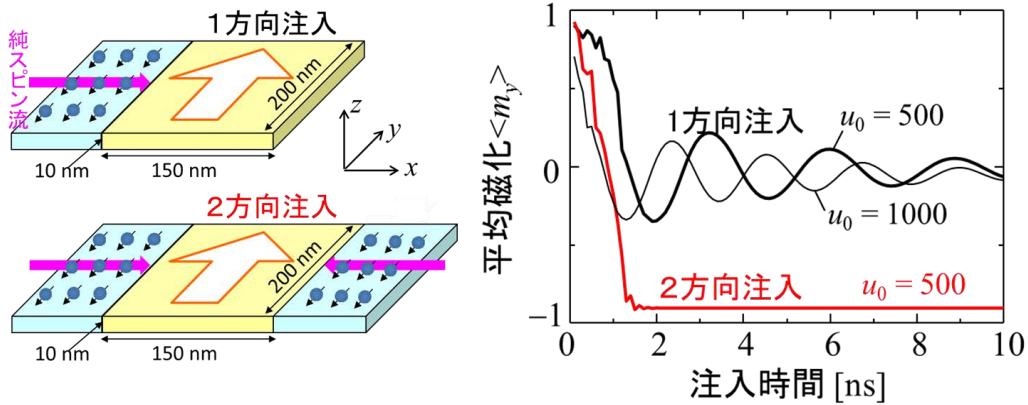


図 3-14 (a) 二次元 Py 薄膜への一方向、及び二方向スピン流注入の概念図。(b) 二次元 Py 薄膜の磁化反転過程の注入方向依存性

多端子スピン注入の有効性を確認するため、図 3-14(a)に示すような幅 200nm, 長さ 150nm, 厚さ 10nm の二次元 Py 薄膜において、一方向からスピン注入した場合と、二方向からスピン注入した場合の磁化反転過程の数値計算を行った。図 3-14(b)は、各スピン注入法における y 成分の磁化 $\langle m_y \rangle$ の時間変化を示しており、磁化反転前が+1、磁化反転後は-1となる。1方向スピン注入ではスピン流の強さを $u=1000\text{m/s}$ まで上昇させても磁化反転が起きず、 $\langle m_y \rangle$ は 0 に収束してしまう。一

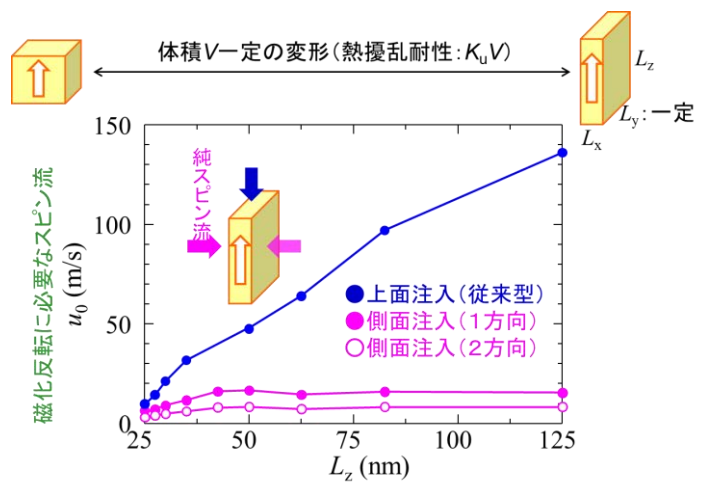


図 3-15. 上面、及び側面スピン注入法における反転スピン流密度の磁性体膜厚依存性

方で、二方向注入の場合、各端子から $u=500\text{m/s}$ のスピン流を注入した場合、 0.9 ns で反転しており、磁化反転過程における多端子スピン注入の有効性が検証された。

次に側面スピン注入の有効性を示すために、膜厚を変化させた場合の磁性体ドットに関して、上面スピン注入、及び側面スピン注入法における反転スピン流強度を比較した。ここで、磁性体ドットは、体積を一定に保ったまま、膜厚を変化させており、膜厚の上昇につれて、上面サイズが減少する、すなわち、高集積化に適した構造となる。ここで、磁性体の体積が一定とした理由は、熱擾乱耐性(KuV)を一定にして、各形状において公平な比較を行うためである。図 3-15 は、反転スピン流の膜厚(Lz)依存性である。ここで、図から確認できるように、上面スピン注入においては、 Lz の増大(集積度の向上)に伴い、磁化反転に必要なスピン流の強度は増大しており、 $Lx=5\text{nm}$ で、 $u=135\text{m/s}$ まで上昇した。一方で、側面スピン注入に関しては、膜厚を変化させても、殆ど一定であり、更に二端子注入法を用いることで、各端子のスピン流強度が半減されることが確認できた。

更に、多端子スピン注入のもう一つのメリットである時間変調スピン流についても、シミュレータを用いて考察を行った。図 3-16 は、 $25\text{nm} \times 50\text{nm} \times 5\text{nm}$ の磁性体薄膜に、偏極方向の異なるスピン流を左端から注入した際の磁化反転過程を示している。図からわかるように、磁化が $+y$ 方向を向いている場合、 $-y$ 方向に偏極したスピン流を注入した場合のみ磁化反転が生じる。しかし、この場合には、反転過程の初期段階においては、スピントルクが極めて小さいため、磁化変化は極めて緩やかである。一方で、 $+z$ 方向のスピン流を注入した場合は、磁化とスピンが直交しているため、トルクが有効に作用し、磁化が急速に変化している。このまま連続的に、 z 方向のスピンを注入しても、磁化は歳差運動を続け、磁化反転しないが、 $1/4$ 回転以上回転したところで、注入スピンの方向を $-y$ 方向に変化させると、磁化反転を促進するトルクが、効率的に受け渡され、極めて短時間で磁化反転することが明らかとなった。

このように、純スピン流の特性を利用した多端子スピン注入、側面スピン吸収は、厚膜ナノ磁性体の磁化反転に極めて有効であることが検証できた。

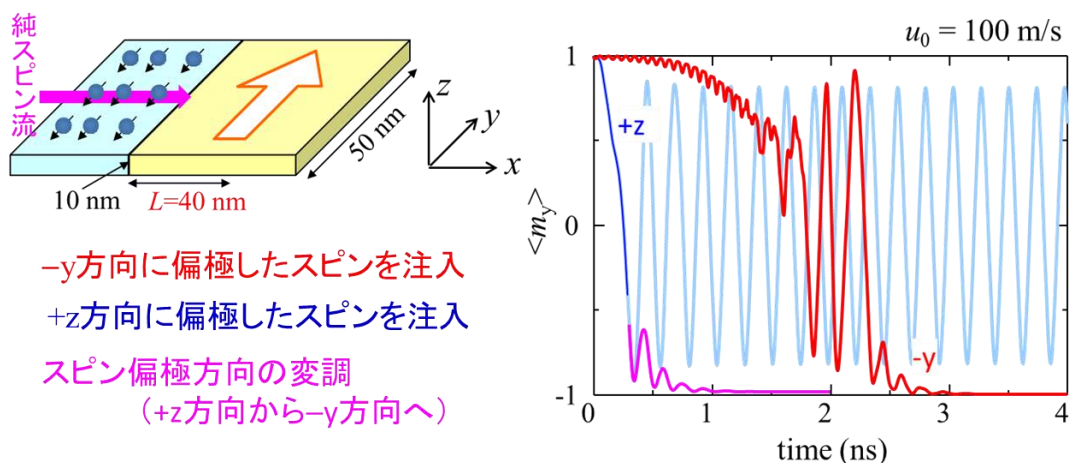


図 3-16 変調スピン流注入による磁化反転の高速化。 $-y$ 方向のスピン流を注入し続けた場合(赤色)、 $+z$ 方向のスピン流を注入し続けた場合(青色)。初期段階に $+z$ 方向、その後 $-y$ 方向のスピン流を注入した場合(ピンク色)

3.6 スピン流高速方向制御による高性能磁化反転技術（慶應義塾大学 能崎グループ）

(1) 研究実施内容及び成果

伊藤 Gr の理論計算により、スピン注入磁化反転において、純スピン流を高速変調することは、磁化反転の高速化・低消費電力化に極めて有効であることが定量的に示された。本研究項目では、それらの理論的考察から期待される現象に関して、高周波測定技術を駆使して実証する。

純スピン流の高速変調が磁化反転の低消費電力化・高速化に効果的に働くことの実証が最終目的であるが、解析計算の結果、高速変調された交流スピン流によるトルクと、磁化困難軸方向の交流磁界によるトルクが等価であることが判明した。交流磁界は、交流スピン流に比べて生成が容易であり、実験的にも着手しやすい。そこで、はじめに、交流磁界によるナノ磁性体の磁化反転磁場の低減に関して調べ、スピン流の変調効果の有効性を検証し、次に、スピン流の高速変調を実現するために、純スピン流生成端子をコプラナー線路化することで、高周波電流の入力が可能な多端子純スピン流デバイスを設計・試作した。更に、生成されたスピン流が実際に高速変調されていることを確認するために、スピン流注入下のナノ磁性体のダイナミクスを高感度検出する技術を開発した。

図 3-17(a) に示すように、直径 8 nm 程度のナノ磁性体ドット群の上に交流磁界を生成するコプラナー導波路を作製した。任意の周波数、強度の交流磁界を印加し、ナノ磁性体ドットの磁化過程を調べることで、交流磁界による有効磁界を調べた。その結果、ナノ磁性体ドットの強磁性共鳴周波数よりも 20 %程度低い特定の周波数の交流磁界を作用させると、磁化反転磁界が激減する現象が観測された。交流磁界による反転磁界の減少率 $\Delta H_{\text{swt}}/H_{c0}$ は 1 よりも大きく、交流磁界が直流磁界に比べて、効率的に磁化反転に作用するのが確認できた。更に興味深いのは、この減少率が交流磁界の強度に比べて非線形に増大する点(図 3-17(b)参照)であり、交流トルクの強度を最適化することで、ナノ磁性体の磁化反転時の消費電力を飛躍的に減少させる可能性を示唆している。

次に、スピン流の高速変調実験に関して、純スピン流生成回路をコプラナー線路化した素子を作製し、交流電流を印加することで、交流純スピン流の生成を行った。ここで、生成端子はコプラナー線路化して、高周波プローブが配置できる構造となっている。純スピン流生成源の右側には、ナノサイズの磁性体ドットがあり、更に、その上部には、磁化ダイナミクス検出用の導波路を配置している。この導波路のインピーダンス特性を評価することで、ナノ磁性体ドットの強磁性共鳴スペクトルが測定できる。本実験では、この共鳴スペクトルが交流純スピン流の注入により、どのように変化

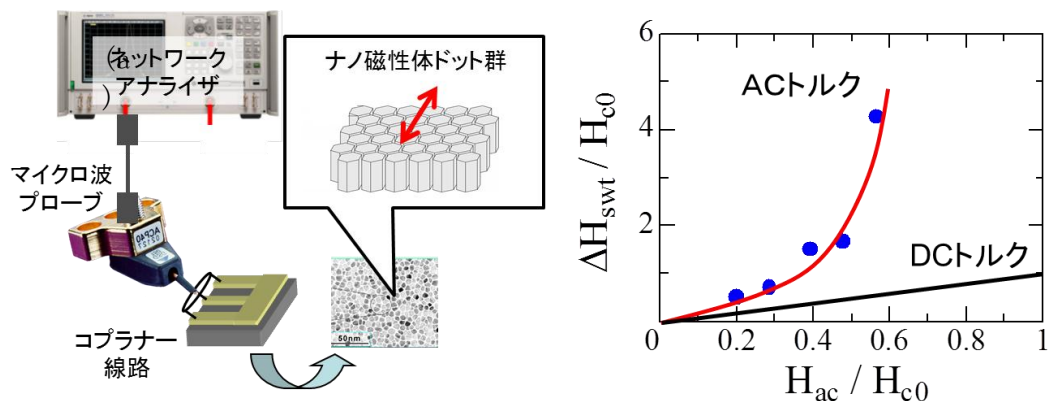


図 3-17. (a) 交流トルクの有効性を検証のためのマイクロ波磁界印加実験の概念図。(b) 実験から得られた直流トルクと交流トルクの有効磁界の比較。

するかを系統的に調べる実験を試みた。実験の結果、ドットの共鳴スペクトルの観測には成功したものの、磁性体ドットの体積が小さいため、スペクトルの S/N 比が悪く、交流スピンの流によるスペクトルの変調を検出するのは、極めて困難であることが判明した。

そこで、磁性体ドットの磁化変化の検出感度を向上させるため、新たに、異方性磁気抵抗効果を用いた強磁性共鳴検出法を考案した。異方性磁気抵抗効果とは、磁性体の電気抵抗が、電流と磁化の相対角に応じて変化する現象であり、ナノ磁性体に微弱な電流を流しながら、高周波磁界による共鳴励起により磁化を大きく振動させると、素子の抵抗が変化する。その結果、磁化の振動振幅に比例してナノ磁性体の両端の電圧が変化するため、強磁性共鳴スペクトルが高感度で検出できる。

本技術を純スピン流注入デバイスに適用し、純スピン流注入下のナノ磁性体の磁化ダイナミクスの検出を試みた。図 3-18 に、試作したデバイスの素子構造を示す。NiFe 細線端子から生成したスピン流をナノ磁性体 (NiFe, 520 nm × 200 nm × 20 nm) に注入した。図 3-19(中央) は、7 GHz の交流磁場により誘引されたナノ磁性体ドットの強磁性共鳴スペクトルである。このナノドットに純スピン流を注入すると、スピン流密度に応じて共鳴スペクトルの線幅 ΔH が、系統的に変化する現象を観測した。図 3-20(中央) は、スペクトル線幅の注入電流依存性である。スペクトル線幅 ΔH が、純スピン流の強度に比例して変化しており、ナノ磁性体の実効的なダンピング定数が、純スピン流注入により変調できることが確認できた。同様の現象は、スピン偏極電流を用いた実験でも報告されており、本実験は、純スピン流によるダンピング変調を世界で初めて観測した実験である。

このように、誘導結合を用いて磁化ダイナミクスを評価する当初計画が困難であることが判明したものの、新規に考案した異方性磁気抵抗効果を利用した実験が、極めて高感度に磁化ダイナミクスを評価できることが分かった。これにより、純スピン流によるスピントルクの定量化が可能であり、現在、浜屋 Gr により作製された高スピン偏極電極による純スピン流トルクの角度依存性や変調周波数依存性などを調べており、引き続き、変調スピントルクの最適化を行い、磁化反転の高速化・低電力化を推進する。

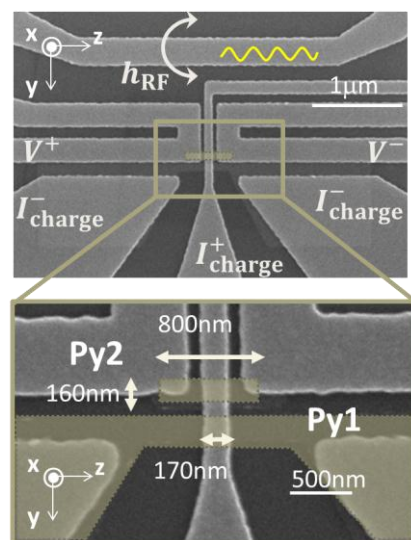


図 3-18 純スピン流注入下の磁化ダイナミクス測定用デバイスの SEM

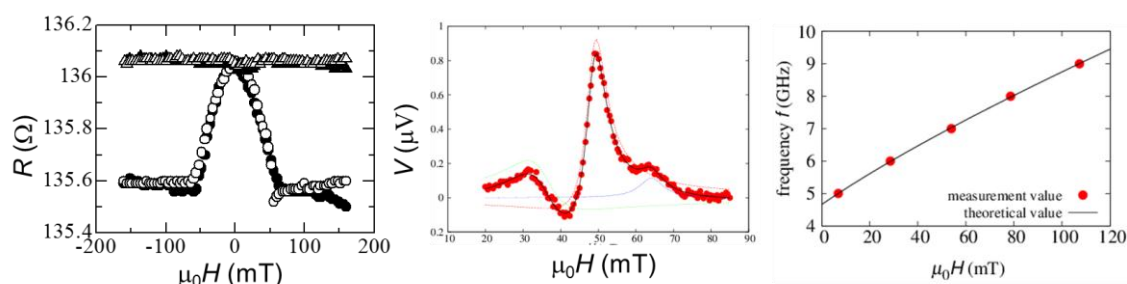


図 3-19 Py ドットの異方性磁気抵抗効果 (左) と誘導結合により発生する Py ドットの共鳴スペクトル (中央) と本手法により検出した共振周波数の磁場依存性 (右)

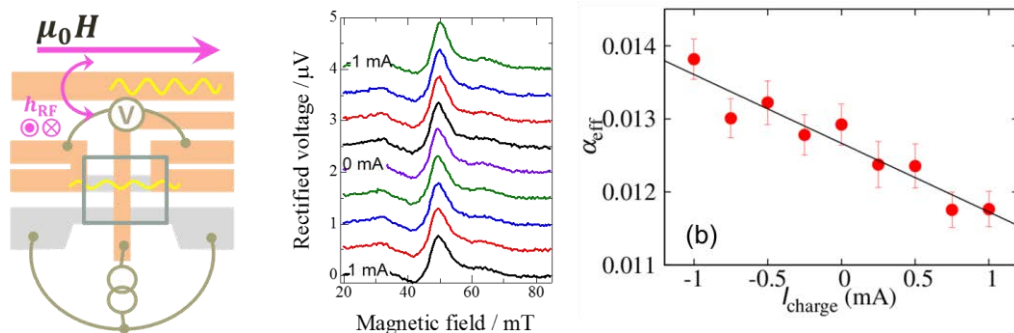


図 3-20 純スピン流注入下の共鳴現象測定回路の模式図と各電流注入下の FMR スペクトル (右) スペクトルから得られたダンピング定数の注入電流依存性

3.7 ホイスラー合金等ハーフメタルの電子状態の計算機シミュレーション (関西大学 伊藤グループ)

(1) 研究実施内容及び成果

ホイスラー合金などハーフメタル的特性が期待されている物質では、スピン偏極率が 100 % 近くなり、このような物質を純スピン流のスピン生成源として用いると、これまで主に用いていたスピン偏極率が 30% 程度の Py などの多結晶強磁性金属を用いた場合に比べ、極めて生成効率が高い純スピン流生成が可能になる。本研究項目では、第一原理バンド計算を用いて、室温でハーフメタル特性を有するホイスラー合金の理論的探索を行う。更に、各種ホイスラー合金において、格子定数や結晶構造および組成とスピン偏極率との関係を明確にし、テンプレート基板など、安定したハーフメタル材料作製に関する指針を提案する。

本研究は、伊藤 Gr が主となり行った。電子状態の計算には、平面波基底-Projector Augmented Wave 法に基づく第一原理バンド計算プログラム VASP を用いた。交換相関ポテンシャルとしては一般化勾配近似 GGA-PBE を用い、また平面波のカットオフ・エネルギーは 500eV とした。DO₃ や L₂₁ 構造に対しては 4 原子からなる単位胞を用いた。一方、B2 構造や A2 構造および非化学量論的組成に対しては 16 原子からなる単位胞を用いた。計算結果から、電子状態密度、磁気モーメント、スピン偏極率を評価した。

宮尾 Gr が、既に DO₃ 構造で形成されるホイスラー合金 Fe₃Si の高品質薄膜形成技術を有しているが、そのスピン偏極率は、-40% と計算され、高スピン偏極率は期待できない。そこで、同構造の一部のサイトの Fe を Mn に置換することで構成される L₂₁ 構造の Fe₂MnSi に関してバンド計算を行い、ハーフメタル性を評価した。図 3-21 は少数スピンの状態密度を示す。フェルミ準位近傍において、明瞭なバンドギャップが存在することが分かり、ハーフメタル特性を有することが判明した。しかし、同物質のキュリー点を評価した結果、200K 程度であることが分かり、室温動作でのハーフメタル特性が期待できないことが分かった。そこで、高温での安定性が期待できる Co 系ホイスラー合金に関して評価することにした。

図 3-21 (右) に、バンド計算から得られた L₂₁ 構造を有する Co₂MnSi, Co₂FeSi 及び Co₂FeAl の少数スピンの状態密度を示す。すべての物質において、明瞭なバンドギャップが観測されており、ハーフメタル特性が確認できる。また、それらのキュリー点も、1000K 程度を有していることが判明し、室温での安定性も確認された。一方で、同物質が B2 構造や A2 構造を形成した際のバンド計算を行うと、図に示すように、ハーフメタルギャップが消失し、スピン偏極率が著しく低下することが判明した。このように、化学量論組成が保たれていても、結晶構造が異なるとスピン偏極率の低下

をもたらすことが分かり、安定したハーフメタル特性を引き出すためには、結晶規則度も重要な因子であることが判明した。

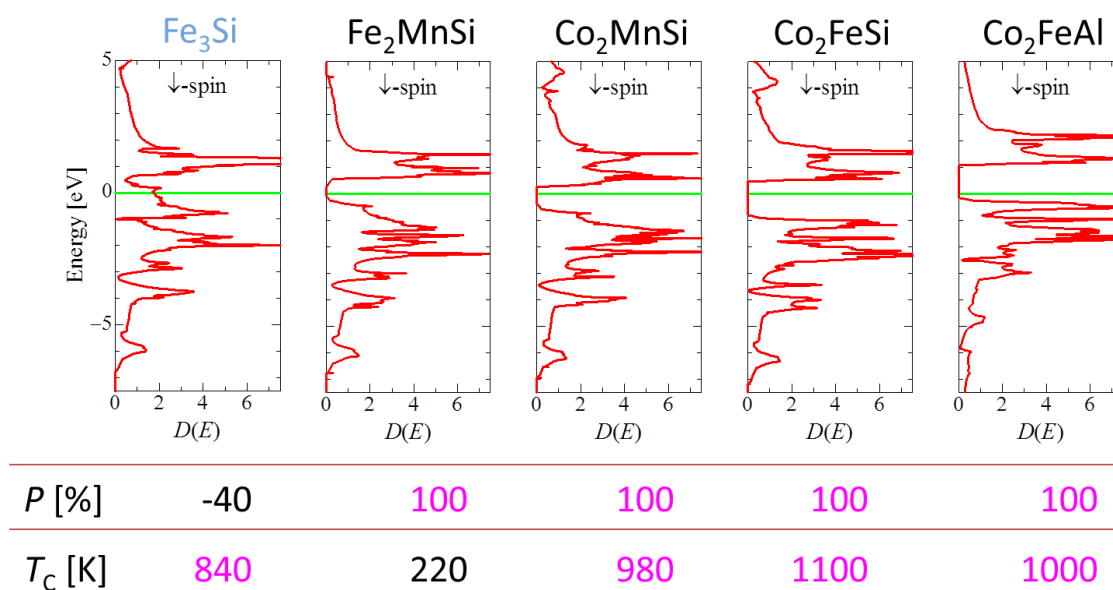


図 3-21. 各種ホイスラー合金の少数スピン状態密度とスピン偏極率、及びキュリー点

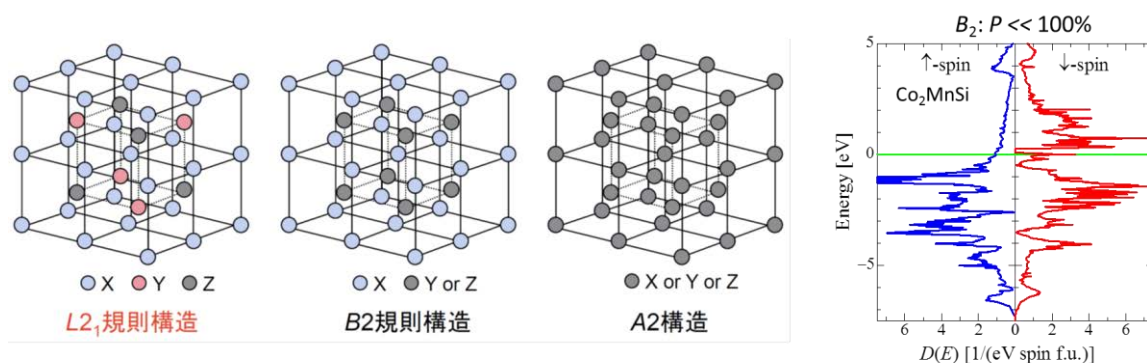


図 3-22 ホイスラー合金における結晶構造と B_2 構造における Co_2MnSi のバンドギャップの消失

3.8. 高品質強磁性フルホイスラー合金のMBE 成長技術の確立とプレーナー素子構造用微細加工技術の確立（九州大学 宮尾グループ、大阪大学 浜屋グループ、九州大学 木村グループ）

(1)研究実施内容及び成果

本研究項目では、伊藤 Gr の理論計算によって、室温でのハーフメタル特性が予言されたホイスラー合金を、MBE 法を用いて、高い規則度を有する高品質な薄膜成長する技術を確立し、その高品質薄膜に微細加工を施し、純スピンドバイスとして動作させることで、純スピンド生成効率の飛躍的改善を目指す。

本研究項目は、宮尾 Gr が担当した。これまでに Fe₃Si というホイスラー系材料で確立している SiGe(111) 基板上への低温 MBE 技術を、伊藤 Gr によりハーフメタル特性が予言されているフルホイスラー合金系へ高度化する。その後、膜質を劣化させない損傷の極めて少ない最適な微細加工法により、ホイスラー合金薄膜に微細加工を施し、純スピンドデバイスを試作し、非局所スピンド信号強度から、純スピンドの生成効率を評価する。

MBE 法を用いて、ハーフメタル材料として期待されている L₂₁-Co₂FeSi の Si(111)上への結晶成長を試みた。図に、基板温度 200°C で作製した Co₂FeSi /Si 界面近傍の高分解能断面電子顕微鏡写真を示す。原子レベルで急峻な Co₂FeSi /Si 界面を有したまま、Co₂FeSi のエピタキシャル成長を実現しているのが確認できる。さらに、界面近傍の Co₂FeSi 薄膜層のナノ電子線回折パターンを測定したところ、L₂₁ 規則構造の存在を示唆する明瞭な(111)および(113)パターンを観測した(挿入図)。図 3-24 右下には、⁵⁷Co 線源のガンマ線照射によるメスbauer 分光スペクトルの測定結果を示す。フィッティングの結果、90%以上のスペクトルが理想的な L₂₁ 規則構造の Fe サイト(4a サイト)と一致した。つまり、サイトを占めるほとんどの Fe 原子が理想的な L₂₁ 規則構造中の Fe で説明でき、200°C という極めて低温で作製しているにも関わらず、バルク並みに規則度が高いことを意味しており、高いスピンド偏極率が期待される Co₂FeSi 薄膜のエピタキシャル成長技術の開発

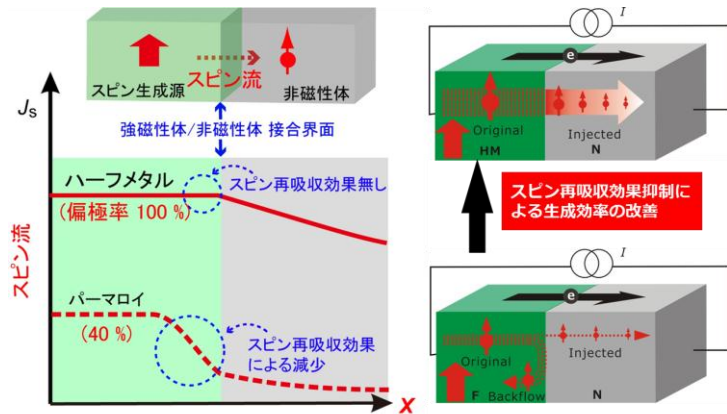


図 3-23. ハーフメタルスピンド生成源によるスピンド生成効率改善の概念図

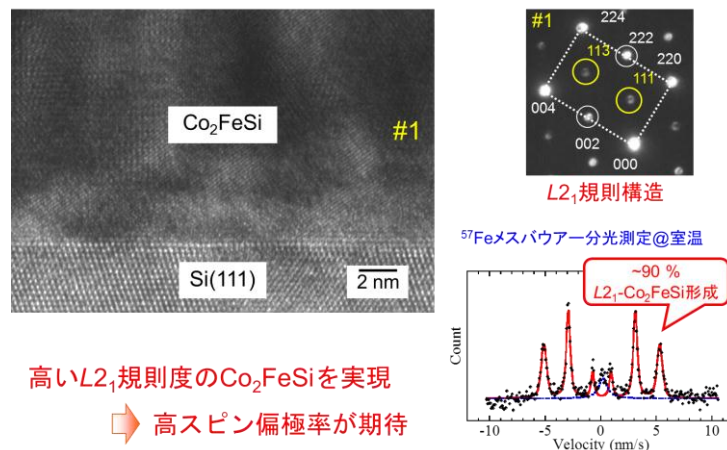


図 3-24. Si (111) テンプレート上への高品質ホイスラー合金の形成。断面 TEM 像とメスbauer 分光スペクトル

に成功した。

続いて、得られた単結晶薄膜を電子線描画と Ar イオンミリングにより細線化し、 Co_2FeSi をスピン生成源とする横型スピン伝導素子を作製した。図 3-25 左に今回作製した Co_2FeSi 電極 (CFS1, CFS2) と Cu チャネルを有する横型スピン伝導素子の電子顕微鏡写真を示す。本素子を用いて、図に示す端子配置で、非局所スピンスピンバルブ測定を行い、スピン信号の大きさから純スピン流の生成効率を評価した。

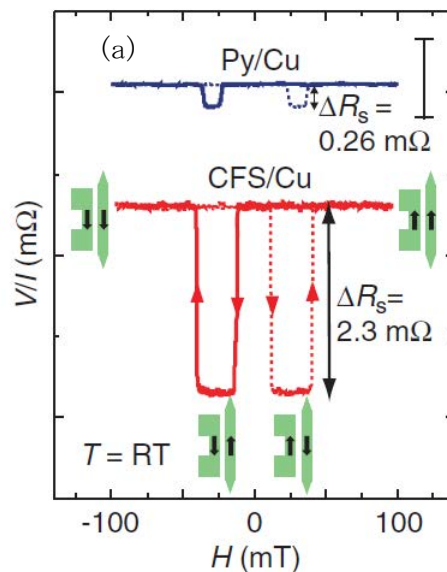
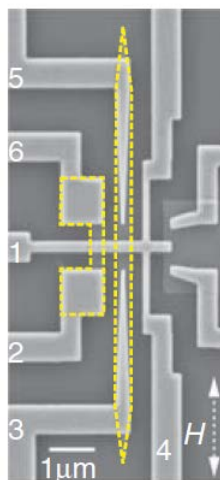


図 3-25. 試作した CFS 電極で構成される純スピン流生成デバイスの SEM 像と観測された非局所スピン信号

図に、本素子で得られた非局所スピン信号の結果を示す。また、比較のために、生成源が Py の場合のスピン信号の結果も示している。

図からわかるように、CFS/Cu 素子では、Py と比べて 10 倍以上の大きさのスピン信号が観測されているのが確認できる。これらの結果を1次元スピン拡散モデルを用いて解析したところ、CFS 生成源を用いた場合の純スピン流の生成効率は27%となり、従来の Py 電極を用いた場合に比べ、生成効率が一桁以上向上することが判明した。

更に、ホイスラー合金による生成効率の改善が、スピン偏極率の向上であるものを裏付けるために、同程度の電気抵抗率を持つ鉄シリサイド (Fe_3Si) という、スピン偏極率がそれほど大きくないホイスラー合金との比較実験も行った。図 3-26 は、CFS および FS におけるスピン偏極率の電気抵抗率依存性である。図に示すように、CFS が FS に比べて、大きなスピン偏極率を有することが確認でき、また、電気抵抗率の減少と共に、スピン偏極率が増大する傾向があることも判明した。

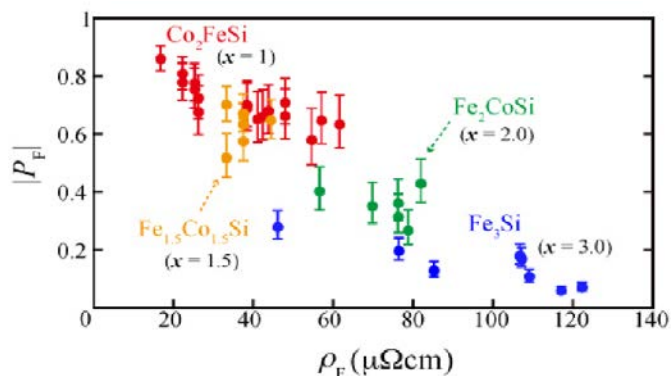


図 3-26. CFS および FS 生成源のスピン偏極率と電気抵抗率の関係

これら一連の実験は、世界で初めてホイスラー合金による純スピン流の高効率生成に成功した実験であり、生成効率の飛躍的改善は、純スピン流デバイスの実用化に多大な貢献をもたらしたと考えている。

3.9 高スピン偏極電極の多端子化と巨大純スピン流生成 (九州大学 木村グループ)

(1) 研究実施内容及び成果

既に確立している高スピン偏極電極を用いてスピン生成源を多端子化し、より巨大な純スピン流の生成を試みた。ここでは、図 3-27 左に示すように、CoFeAl 電極を多端子スピン生成源とする横型スピンバルブ素子を作製した。また、スピン流の検出端子としては、厚さ 20nm の NiFe ドットを用いており、多端子生成された巨大純スピン流を注入することによる磁化反転をこころみた。ここで、NiFe ドットの面内サイズは、150 nm × 300 nm である。また、異なる物質で構成されたスピンバルブ素子では、スピン信号の符号から、スピン偏極率の符号を判別できるため、CoFeAl の偏極率の確認も目的の一つである。

図中央に、同デバイスで得られたスピン信号の測定結果を示す。これまでの NiFe をスピン生成源とする多端子素子に比べ、スピン信号の強度が 10 倍程度増大しており、これまでの同様 Co_2FeSi による純スピン流の生成効率の飛躍的改善が確認できた。また、得られたスピン信号の符号は、従来型で得られているものと同じく、並行状態において低い値を示す抵抗変化を示しており、このことから、CoFeAl のスピン偏極率が正であることを確認された。

次に、生成源の電流を増大させることで、磁化反転を試みた。ここで、言うまでもなく単端子スピンスピン生成では、素子に流せる電流が 2mA 以下に制約されるため、磁化反転を誘起できなかった。一方、4端子スピン流生成により、生成スピン流を増大させることで、図右に示すように、7mA 近傍において Py の磁化反転に伴う信号変化が観測された。正バイアスによる純スピン流生成では、磁化配列を反平行にすることを促進するため、この磁化反転は、純スピン流により誘起されたものであり、とりわけ、単端子では実現できなかった厚さ 20nm の Py ドットの磁化反転を多端子スピンスピン生成により実現することに成功できたことは、本手法の大きな利点を示している。

その後、電流を負方向に増大させ、Py の磁化を平行状態に戻すことを試みたが、-10mA 以下では、本デバイスでは、観測することができなかった。この理由の一つとしては、Py ドットからの電極取り出しの必要性から、全体を Cu でカバーすることができておらず、スピントルクが発生しにくい箇所がある点が考えられるが、それは、正バイアスも同じであるため、これだけの要因ではない。実は、後に詳しく述べるが、熱によるスピン注入効果のため、スピン流の生成強度がバイアス電流の符号により大きく変化することを考慮するとこれは理解できる。具体的には、正バイアスでは、電気生成によるスピン流と熱生成によるスピン流が同一符号となり、その結果、スピン流は増大するため、効率的に純スピン流が生成されるが、負バイアスの場合、それは互いに逆符号となるため相殺し合い、生成スピン流強度は高バイアス化で著しく減少してしまう。そのため、負バイアス時のスピン流強度低下が、磁化反転を誘起できなかったものと考えられる。

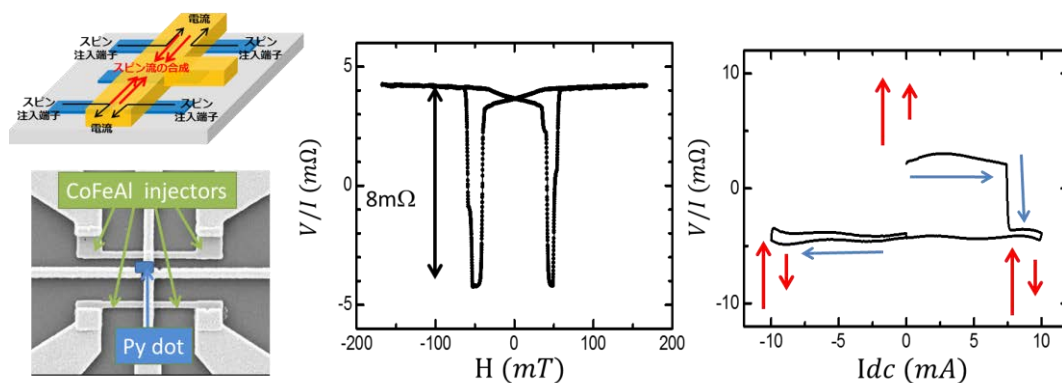


図 3-27 高スピン偏極電極の多端子化により巨大純スピン流生成と純スピン流注入磁化反転素子の模式図(左)、スピン信号(中央)と電流印加時のスピン信号変化(右)

前述のように、多端子素子においても、高バイアス下では、熱の影響があり、スピン流生成に影響するため、ここでは高バイアス下でも、発熱量の少ないナノピラー型巨大純スピン流生成素子を、高スピン偏極電極を用いて高度化し、より巨大な純スピン流の生成を試みた。

Si 基板上に Cu/CoFeAl の二層膜を作製し、上部 CoFeAl をドット状に加工した。試作した素子の模式図と SEM 像を図 3-28 左に示す。同素子を図に示す端子配置を用いてスピン信号を測定し、純スピン流デバイスとしての性能を評価した。ここで、CoFeAl 電極の厚さは 10 nm である。

図 3-28 中央に、室温でのスピン信号の測定結果を示す。CFA/Cu において、 $3.5\text{m}\Omega$ の信号が観測されており、この値は強磁性体材料 NiFe を用いて実験を行った場合に比べおおよそ 8 倍の大きさであることが分かり、効率的な純スピン流生成が確認できた。

更に、本素子に置いて、2つの磁性体の磁化方向を平行配置にして、室温にて、電流端子の電流強度を変化させながら電圧を測定したところ、 $+22\text{mA}$ において、反転層の磁化反転し、磁化配置が反平行になったことを示す急峻な負の抵抗変化が観測された。更に、反平行状態を維持したまま、注入端子の電流をゼロまで戻し、負方向の電流を増大させていくと、 -15mA で、磁化配置が平行に戻ったことを示す正の抵抗変化が観測された。これらの結果は、純スピン流注入により反転層に作用するスピントランスファートルクで説明することが可能であり、厚さ 10nm の CFA ドットの純スピン流誘起の磁化反転に成功したことが確認できる。

しかし、CFA ドットの磁化反転に必要な電流量は、Py ドットの時と比べて低減しなかった。この理由は、CFA が NiFe の磁化に比べて約 2.5 倍の大きさを持ち、また、ダンピング定数も 5 倍以上あることに起因している。より磁化が小さく、低ダンピングの反転層を適用することで、反転電流は、一桁以上低減できると考えられる。

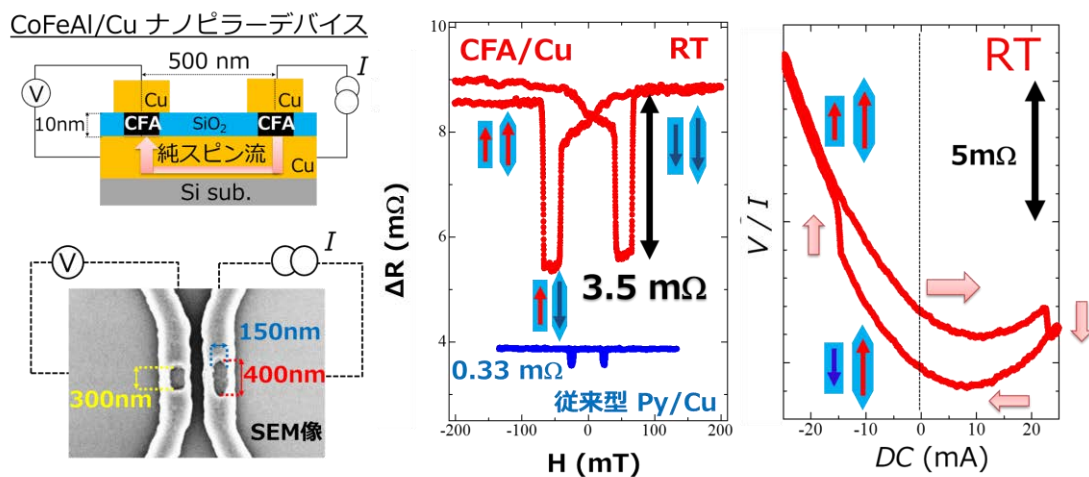


図 3-28 (左) 試作した CoFeAl/Cu ナノピラー型純スピン流デバイスの模式図と SEM 像 (中央) 室温で得られたスピン信号 (青色は Py/Cu 素子との比較)。(右) 純スピン流磁化反転の実証

3.11 異種ホイスラー合金の局所配列による横型スピバルブの作製 (大阪大学 浜屋グループ)

(1) 研究実施内容及び成果

前述したように、巨大純スピ流の生成に適した電極材料と反転層として適した材料に望まれる特性は異なるため、理想的には、生成源と反転層を異なる物質で構成した純スピ流デバイスの創成が期待される。

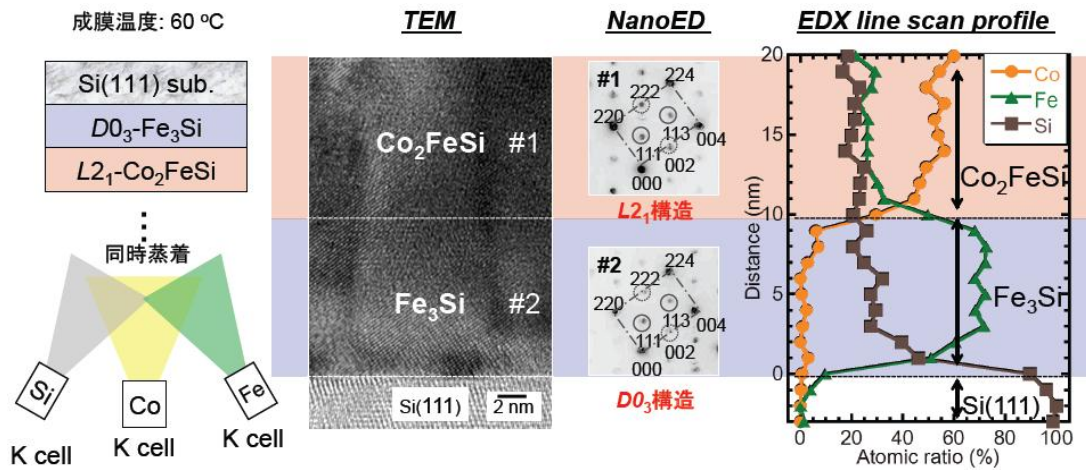


図 3-29 Si(111) 基板上への高品質 Fe₃Si/Co₂FeSi の成膜とその結晶構造評価結果

これまでの研究から、Si(111) 基板上に高品質結晶成長させた Co₂FeSi が最も大きなスピ偏極率をもち、また、Fe₃Si が最も小さいダンプ定数を持つことが分かっており、これらをそれぞれ、生成端子、及び検出端子に用いることができれば、最も理想的な純スピ流デバイスの創成が期待できる。そこで、本研究項目では、高品質薄膜成長技術の更なる高度化を目指して、生成端子と検出端子が異なる単結晶ホイスラー合金で構成された横型スピバルブ素子の作製技術を確立した。

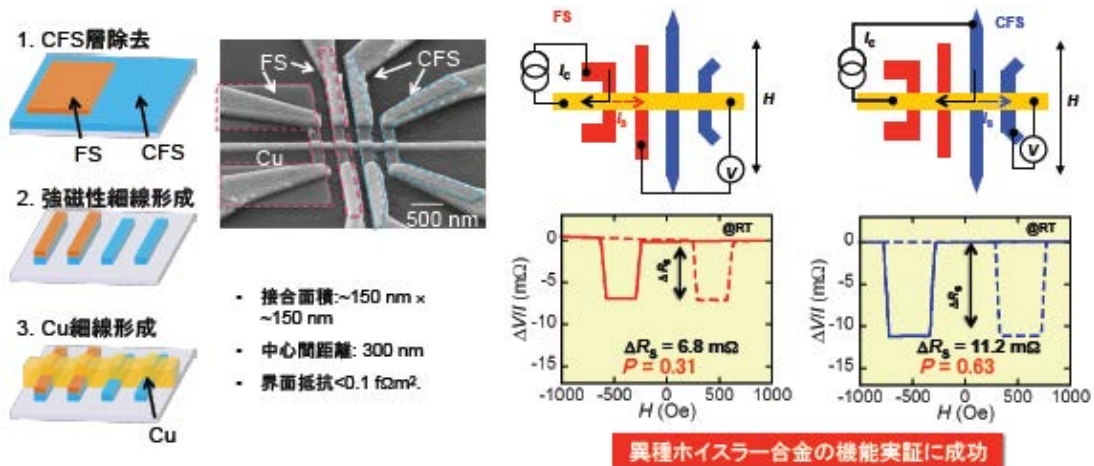


図 3-30. Co₂FeSi と Fe₃Si の異なる単結晶ホイスラー合金電極を有する横型スピバルブの作製法と得られたスピ信号

図 3-29 左に示すように、Si(111)テンプレート上に、 Fe_3Si と Co_2FeSi の二層膜を成長した。図右の結晶構造分析の結果から、得られた二層膜は相互拡散のない高品質な薄膜であるのが確認できる。その後、局所的に Fe_3Si 層を、精密制御されたイオンミリングにより除去し、生成源を Co_2FeSi 、検出端子を Fe_3Si とする横型スピバルブを作製した。

図 3-30 左に、試作した素子の SEM 像とスピン信号の測定結果を示す。これまでのホイスラー合金デバイスと同様、極めて大きなスピン信号の検出に成功した。 Fe_3Si は、磁気的に極めてソフトな磁性薄膜であり、飽和磁化も小さく、ダンピング定数も小さい為、反転に必要なスピン流が低減することが期待できる。

3.12 熱を用いた純スピン流生成

これまで、純スピン流を生成する手法として、専ら電流を用いてきたが、前述のように、本手法では、生成端子中の電流によるジュール損失が発生する、純スピン流生成用の端子を別途設ける必要があり、集積化したときの配線が複雑になるなどの問題が発生する。(図 3-34)

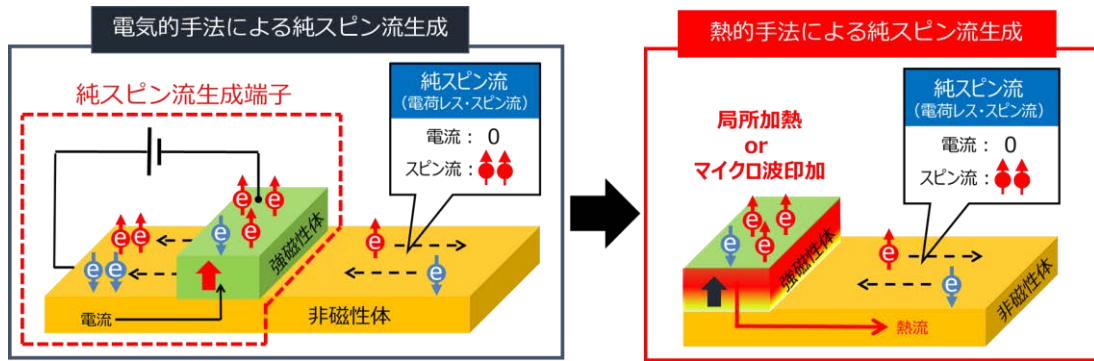


図 3-34 電気的手法による純スピン流生成と熱的手法による純スピン流生成

電気的スピン流生成の起源は、強磁性体中の電気伝導率が上向きスピンの電子と下向きスピンの電子で異なるため、この場合、強磁性体に電位差(電圧)を与えることで電流とともにスピン流が生成される。一方で、ごく最近の研究から、強磁性体では、熱電効果にかかわるゼーベック係数もスピンの向きに依存することが判明し、電位差の代わりに温度差を与えることでスピン流が生成できることが分かってきた。しかしながら、通常用いられる強磁性体である

Py や Co などでは、スピン上向きと下向きのゼーベック係数の差は極めて小さいため、熱により生成できるスピン流の大きさは、電気的スピン注入に比べて、極めて小さいと考えられていた。

ところが、ゼーベック係数は、電気伝導率と異なり、負の値も取り得ることを考慮すると、強磁性

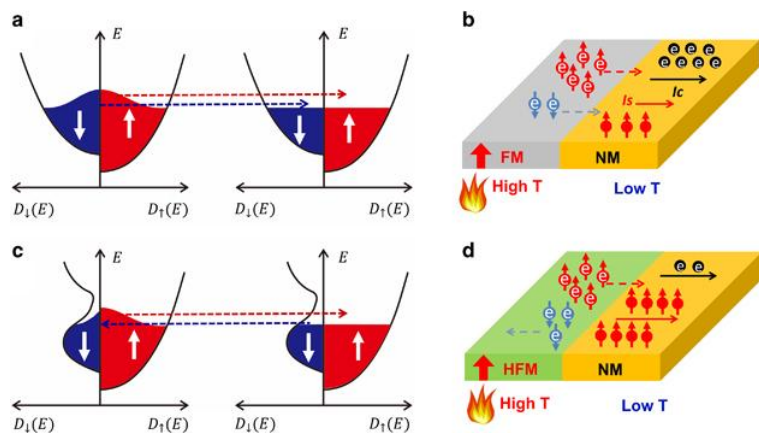


図 3-35 従来型強磁性体における熱スピン注入と特殊なバンド構造を持つ強磁性体における効率的熱スピン注入

体において、上向きスピと下向きスピで、ゼーベック係数の符号が異なる状態がありえる。そのような状況に置いて、強磁性体に温度勾配を付加すると、それぞれの電子が逆向きに移動するため、純スピ流の生成が加速されることになる。(図 3-35(d))。

このような物質を探索するべく、各種強磁性体で構成される横型スピバルブを試作し、片側の強磁性細線を加熱して純スピ流を生成し、もう1つの強磁性細線で純スピ流の強度を検出した。その結果、Py 電極では、7nV の信号変化であったが、CoFeAl 電極では、約870ナノボルトのスピ信号が観測された(図 3-36(b))。これらの結果から、上向きスピと下向きスピのゼーベック係数の差を算出すると、mV/K と、これまで報告されている値に比べて、20倍程度大きな値を持つことが判明した。

ゼーベック係数は、非常に単純化した理論モデルにおいて、状態密度のエネルギー微分に比例することが知られている。そこで、伊藤グループによる第一原理計算により、CoFeAl のゼーベック係数について理論検討したところ、期待通り、スピの向きに応じて、符号が反転する傾向を再現することができた。定量性に関しては、まだ、モデルの最適化が必要であるが、本成果は、効率的な熱スピ注入を実現するうえで、重要な指針を与えることにつながると考えられる。

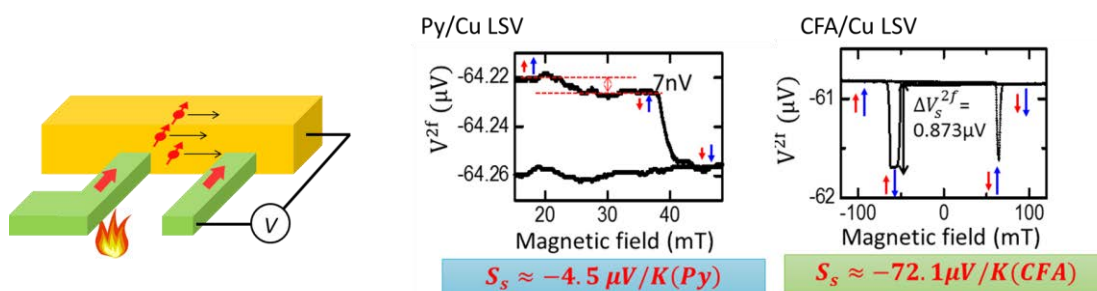


図 3-37 熱的スピ注入によるスピ信号測定回路の模式図(左)と Py/Cu 素子(中央)と CFA/Cu 素子で観測される熱的スピ信号

§ 4 成果発表等

(1)原著論文発表 (国内(和文)誌 3件、国際(欧文)誌 78件)

1. Y. Nozaki, S.D. Watanabe, T. Kobayashi, and T. Tanazawa: “Spin transfer torque in lateral spin-valve structure evaluated from field-excited ferromagnetic resonant linewidth”, *Appl. Phys. Express* 8, 043001 (2015).
2. S. Honda and T. Kimura: “Magnetization reversal of permalloy film by pure spin current injection: relation between reversal time and injected surface”, *JPS Conf. Proc.* 5, 011017 (2015).
3. G. Okano and Y. Nozaki: “Cooperative microwave-assisted magnetization reversal with pulsed fields in 2- μ m-wide nickel-iron wires at nanosecond time scales”, *Appl. Phys. Express* 8, 013001.(2015)
4. H. Hata, M. Goto, A. Yamaguchi, T. Sato, Y. Nakatani, and Y. Nozaki: “Coupled oscillations of vortex cores confined in a ferromagnetic elliptical disk”, *Phys. Rev. B*, 90, 104418 (2014).
5. Y. Kasatani, S. Yamada, H. Itoh, M. Miyao, K. Hamaya, and Y. Nozaki: “Large anisotropy of Gilbert damping constant in L₂₁-ordered Co₂FeSi flms”, *Appl. Phys. Express* 7, 123001 (2014).
6. M. Goto, Y. Nozaki, and K. Sekiguchi: “Criteria for Electric Determination of Antivortex Creation in Ferromagnetic Thin Film”, *Jpn. J. Appl. Phys.* 54, 023001 (2014).
7. H. Hata, M. Goto, A. Yamaguchi, T. Sato, Y. Nakatani and Y. Nozaki: “Coupled oscillations of vortex cores confined in a ferromagnetic elliptical disk”, *Phys. Rev. B*, 90, 104418 (2014).
8. S. Hu, and T. Kimura, “Significant modulation of electrical spin accumulation by efficient thermal spin injection”*Phys. Rev. B* 90, 134412 (2014)
9. S. Hu, H. Itoh and T. Kimura, “Efficient thermal spin injection using CoFeAl nanowire”, *NPG Asia Mater.*, 6, e127 (2014)
10. K. Ohnishi, Y. Ono, T. Nomura and T. Kimura, “Significant change of spin transport property in Cu/Nb bilayer due to superconducting transition”, *Sci. Rep.* 4, 6260 (2014).
11. X. Cui, S. Hu and T. Kimura, “Detection of a vortex nucleation position in a circular ferromagnet using asymmetrically configured electrodes”, *Appl. Phys. Lett.* 105, 082403 (2014).
12. S. Yamada, K. Tanikawa, S. Oki, M. Kawano, M. Miyao, and K. Hamaya, “Improvement of magnetic and structural stabilities in high-quality Co₂FeSi_{1-x}Al_x/Si heterointerfaces”, *Appl. Phys. Lett.* 105, 071601 (2014).
13. K. Tanikawa, S. Oki, S. Yamada, M. Kawano, M. Miyao, and K. Hamaya, “High-quality Co₂FeSi_{0.5}Al_{0.5}/Si heterostructures for spin injection in silicon spintronic devices”, *Thin Solid Films* 557, 390 (2014).
14. Y. Fujita, S. Yamada, Y. Maeda, M. Miyao, and K. Hamaya, “A magnetic tunnel junction with an L₂₁-ordered Co₂FeSi electrode with room-temperature fabrication processes”, *Thin Solid Films* 557, 386 (2014).
15. K. Kasahara, Y. Fujita, S. Yamada, K. Sawano, M. Miyao, and K. Hamaya, “Greatly enhanced generation efficiency of pure spin currents in Ge using Heusler compound Co₂FeSi electrodes”, *Appl. Phys. Express* 7, 033002 (2014).
16. K. Hamaya, G. Takemoto, Y. Baba, K. Kasahara, S. Yamada, K. Sawano, and M. Miyao, “Room-temperature electrical creation of spin accumulation in n-Ge using highly resistive Fe₃Si/n+-Ge Schottky-tunnel contacts”, *Thin Solid Films* 557, 382-385 (2014).
17. K. Sawano, Y. Hoshi, S. Endo, T. Nagashima, K. Arimoto, J. Yamanaka, K. Nakagawa, S. Yamada, K. Hamaya, M. Miyao, and Y. Shiraki, “Formation of Ge(111) on Insulator by Ge epitaxy on Si(111) and layer transfer”, *Thin Solid Films* 557, 76-79 (2014).
18. Y. Kanda, T. Nomura, T. Kimura, and M. Hara, “Geometrical optimization of a local ballistic magnetic sensor”, *Appl. Phys. Lett.* 104, 142408 (2014).
19. S. Hu, and T. Kimura, “Significant modulation of electrical spin accumulation by efficient thermal spin injection”, *Phys. Rev. B* 90, 134412 (2014).
20. K. Hamaya, Y. Baba, G. Takemoto, K. Kasahara, S. Yamada, K. Sawano, and M. Miyao

- “Qualitative study of temperature-dependent spin signals in n-Ge-based lateral devices with Fe₃Si/n+-Ge Schottky-tunnel contacts”, *J. Appl. Phys.* 113, 183713 (2013).
21. Y. Kawakubo, Y. Noguchi, T. Hirata, K. Narumi, S. Sakai, S. Yamada, K. Hamaya, M. Miyao, and Y. Maeda, “Ion beam analysis of quaternary Heusler alloy Co₂(Mn_{1-x}Fe_x)Si(111) epitaxially grown on Ge(111)”, *Phys. Stat. Solidi C* 10, 1828 (2013).
 22. Y. Ando, K. Ichiba, S. Yamada, E. Shikoh, T. Shinjo, K. Hamaya, and M. Shiraishi, “Giant enhancement of spin pumping efficiency using Fe₃Si ferromagnet”, *Phys. Rev. B* 88, 140406 (2013).
 23. S. Honda and H. Itoh, “Effect of Spin Polarization Direction on Magnetization Reversal using Pure Spin Current Injection”, *J. Magn. Soc. Jpn.* 37, 338-341 (2013). (in Japanese)
 24. S. Yakata, T. Tanaka, K. Kiseki, K. Matsuyama and T. Kimura, “Wide range tuning of resonant frequency for a vortex core in a regular triangle magnet”, *Sci. Rep.* 3, 3567 (2013).
 25. S. R. Bakaul, S. Hu and T. Kimura, “Thermal gradient driven enhancement of pure spin current at room temperature in nonlocal spin transport devices”, *Phys. Rev. B* 88, 184407 (2013).
 26. C. Mu, S. Hu, J. Wang and T. Kimura, “Thermo-electric effect in a nano-sized crossed Permalloy/Cu junction under high bias current”, *Appl. Phys. Lett.* 103, 132408 (2013).
 27. S. Oki, S. Yamada, K. Tanikawa, K. Yamasaki, M. Miyao and K. Hamaya, “Lateral spin valves with two-different Heusler-alloy electrodes on the same platform”, *Appl. Phys. Lett.* 103, 212402-1-3 (2013).
 28. T. Matsunaga, K. Furukawa, Y. Kanda, M. Hara, T. Nomura and T. Kimura, “Detection of edge magnetic state by a ballistic bend resistance measurement”, *Appl. Phys. Lett.* 102, 252405 (2013).
 29. K. Tanikawa, S. Oki, S. Yamada, K. Mibu, M. Miyao and K. Hamaya, “Effect of Co-Fe substitutions on the room-temperature spin polarization in Co_{3-x}Fe_xSi Heusler-compound films”, *Phys. Rev. B* 88, 014402-1-5 (2013).
 30. N. Ishida, Y. Soeno, K. Sekiguchi and Y. Nozaki, “Frequency dependence of critical switching asteroid of CoCrPt-SiO₂ granular film under 50-ns microwave impulse”, *J. Appl. Phys.* 114, 043915 (2013).
 31. K. Hosono, J. Shibata, H. Kohno and Y. Nozaki, “Spin torques due to diffusive spin current in magnetic texture”, *Phys. Rev. B* 87, 094404 (2013).
 32. T. Tanaka, Y. Otsuka, Y. Furomoto, K. Matsuyama and Y. Nozaki, “Selective Magnetization Switching with Microwave Assistance for Three-Dimensional Magnetic Recording”, *J. Appl. Phys.* 113, 143908 (2013).
 33. M. Kawano, S. Yamada, S. Oki, K. Tanikawa, M. Miyao and K. Hamaya, “Molecular Beam Epitaxy of Co₂MnSi Films on Group-IV Semiconductors”, *Jpn. J. Appl. Phys.* 52, CM06-1-4 (2013).
 34. S. Hu and T. Kimura, “Anomalous Nernst-Ettingshausen effect in nonlocal spin valve measurement under high-bias current injection”, *Phys. Rev. B* 87, 014424 (2013).
 35. S. Oki, M. Kawano, K. Tanikawa, H. Aoki, S. Yamada, M. Miyao and K. Hamaya, “Generation and detection of a pure spin current using Co-based Heusler-alloy spin injector and detector: Comparison of Co₂MnSi and Co₂FeSi”, *ECS Trans.* 50, 245-251 (2013).
 36. S. Bakaul, W. Hu, T. Wu, T. Kimura, “Intrinsic domain-wall resistivity in half-metallic manganite thin films”, *Phys. Rev. B* 86, 184404 (2012).
 37. S. Oki, K. Masaki, N. Hashimoto, S. Yamada, M. Miyata, M. Miyao, T. Kimura and K. Hamaya, “Sign determination of spin polarization in L₂₁ ordered Co₂FeSi using a Pt-based spin Hall device”, *Phys. Rev. B* 86, 174412 (2012).
 38. S. Yamada, J. Sagar, S. Honda, L. Lari, G. Takemoto, H. Itoh, A. Hirohata, K. Mibu, M. Miyao and K. Hamaya, “Room-temperature structural ordering of a Heusler-compound Fe₃Si”, *Phys. Rev. B* 86, 174406 (2012).
 39. S. Bakaul, S. Hu and T. Kimura, “Large pure spin current generation in metallic nanostructures”, *Appl. Phys. A* 339, 7495 (2012). (Invited)

40. K. Kiseki, S. Yakata and T. Kimura, "Efficient excitation and detection of standing spin wave in Permalloy film – Demonstration of spin wave resonator –", *Appl. Phys. Lett.* 101, 212404 (2012).
41. K. Nakada, S. Yakata and T. Kimura, "Noise-induced Transition of Mutual Phase Synchronization in Coupled Spin Torque Nano Oscillators", *IEEE Trans. on Magn.* 48, 4558-4561 (2012).
42. S. Hu, K. Kiseki, S. Yakata and T. Kimura, "Ferromagnetic Resonance in Exchange-Coupled NiFe/FeMn Films and Its Control", *IEEE Trans. on Magn.* 48, 2889-2891 (2012).
43. Y. Nozaki, N. Ishida, Y. Soeno, and K. Sekiguchi, "Room temperature microwave-assisted recording on 500-Gbps-class perpendicular medium", *J. Appl. Phys.* 112, 083912 (2012).
44. S. Honda and H. Itoh, "Micromagnetics Simulation for Magnetization Switching of Permalloy Films with Pure Spin Current Injection", *J. Nanosci. Nanotechnol.* 12, 8662 (2012).
45. S. Honda and H. Itoh, "Micromagnetics simulation on Magnetization Reversal in Permalloy Thin Film by Pure Spin Current Injection", *J. Magn. Soc. Jpn.* 36, 331 (2012). (in Japanese)
46. S. Nonoguchi, T. Nomura and T. Kimura, "Longitudinal and transverse spin current absorptions in a lateral spin-valve structure", *Phys. Rev. B* 86, 104417 (2012).
47. T. Nomura, S. Nonoguchi and T. Kimura, "Efficient inducement of bistable spin Hall effect using in-plane-magnetized V-shaped ferromagnetic wire", *Appl. Phys. Lett.* 101, 082403 (2012).
48. K. Nakada, S. Yakata and T. Kimura, "Noise-induced synchronization in spin torque nano oscillators", *J. Appl. Phys.* 111, 07C920 (2012).
49. T. Kobayashi, N. Ishida, K. Sekiguchi and Y. Nozaki, "Ferromagnetic resonance properties of granular Co-Cr-Pt films measured by micro-fabricated coplanar waveguides", *J. Appl. Phys.* 111, 07B919 (2012).
50. M. Miyata, K. Kiseki, S. Yakata, H. Wada and T. Kimura, "Formations of magnetic vortices in a chain array of triangle Py dots and an isosceles triangle Py dot", *J. Appl. Phys.* 111, 07B902 (2012).
51. S. Nonoguchi, T. Nomura, Y. Ando and T. Kimura, "Electrical manipulation of spin polarization and generation of giant spin current using multi terminal spin injectors", *J. Appl. Phys.* 111, 07C505 (2012).
52. S. Nonoguchi, T. Nomura and T. Kimura, "Nonlocal spin transports in nanopillar-based lateral spin valve", *Appl. Phys. Lett.* 100, 132401 (2012).
53. T. Kimura, N. Hashimoto, S. Yamada, M. Miyao and K. Hamaya, "Room-temperature generation of giant pure spin currents using epitaxial Co₂FeSi spin injectors", *NPG Asia Mater.* 4, e9 (2012).
54. K. Hamaya, N. Hashimoto, S. Oki, S. Yamada, M. Miyao and T. Kimura, "Estimation of the spin polarization for Heusler-compound thin films by means of nonlocal spin-valve measurements: Comparison of Co₂FeSi and Fe₃Si", *Phys. Rev. B* 85, 100404(R) (2012).
55. S. Oki, S. Yamada, T. Murakami, M. Miyao and K. Hamaya, "Influence of Al co-deposition on the crystal growth of Co-based Heusler-compound thin films on Si(111)", *Thin Solid Films* 520, 3419 (2012).
56. S. Oki, S. Yamada, N. Hashimoto, M. Miyao, T. Kimura and K. Hamaya, "Effect of Addition of Al to Single-Crystalline CoFe Electrodes on Nonlocal Spin Signals in Lateral Spin-Valve Devices", *Appl. Phys. Express* 5, 063004 (2012).
57. S. Yakata, M. Miyata, S. Honda, H. Itoh, H. Wada and T. Kimura, "Chirality control of magnetic vortex in a square Py dot using current-induced Oersted field", *Appl. Phys. Lett.* 99, 242507 (2011).
58. S. Nonoguchi, Y. Ando, S. Yakata and T. Kimura, "Transport properties of pure spin currents in a polycrystalline Gd wire", *IEEE Trans. Magn.* 47, 2750-2752 (2011).
59. M. Miyata, S. Nonoguchi, S. Yakata, H. Wada and T. Kimura, "Static and dynamical properties of a magnetic vortex in a regular polygonal nanomagnet", *IEEE Trans. Magn.*

- 47, 2505-2507 (2011).
60. Y. Kasatani, A. Yamaguchi, H. Miyajima and Y. Nozaki, "Broadband ferromagnetic resonance of micron-scale iron wires using rectifying effect", *IEEE Trans. Magn.* 47, 1587-1590 (2011).
 61. M. Miyata, S. Yakata, T. Kimura and H. Wada, "Control of Magnetic Vortex Chirality in a Regular Pentagonal Permalloy Nanomagnet Using In-plane Magnetic Field", *J. Magn. Soc. Jpn.* 35, 216-219 (2011). (in Japanese)
 62. Y. Otani and T. Kimura, "Spin current related phenomena in metallic nano-structures", *Physica E* 43, 735-740 (2011).
 63. K. Hosono, A. Yamaguchi, Y. Nozaki and G. Tatara, "Spin current driven by thermal gradient", *AIP Conference Proceeding Series* 1399, 731-732 (2011).
 64. Y. Nozaki, A. Kato, K. Noda, Y. Kanai, T. Tanaka and K. Matsuyama, "Micromagnetic study on microwave-assisted magnetic recording in perpendicular medium with intergrain exchange coupling", *J. Appl. Phys.* 109, 123912 (2011).
 65. M. Goto, H. Hata, A. Yamaguchi, Y. Nakatani, T. Yamaoka, Y. Nozaki and H. Miyajima, "Electric spectroscopy of vortex states and dynamics in magnetic disks", *Phys. Rev. B* 84, 064406 (2011).
 66. K. Hosono, A. Yamaguchi, Y. Nozaki and G. Tatara, "Microscopic Theory of diffusive spin current with spin-orbit interaction", *Phys. Rev. B* 83, 144428 (2011).
 67. K. Hamaya, T. Murakami, S. Yamada, K. Mibu and M. Miyao, "Local structural ordering in low-temperature-grown epitaxial $\text{Fe}_{3+x}\text{Si}_{1-x}$ films on Ge(111)", *Phys. Rev. B* 83, 144411 (2011).
 68. M. Goto, H. Hata, A. Yamaguchi, Y. Nakatani, T. Yamaoka and Y. Nozaki, "Electrical detection of vortex states in a ferromagnetic disk using the rectifying effect", *J. Appl. Phys.* 109, 07D306 (2011).
 69. K. Hosono, Y. Nozaki, A. Yamaguchi and G. Tatara, "Time evolution of spin accumulation induced from electric field in ferromagnet", *J. Appl. Phys.* 109, 07C901 (2011).
 70. S. Yamada, K. Hamaya, T. Murakami, Varaprasad, Y. K. Takahashi, A. Rajanikanth, K. Hono and M. Miyao, "Low-temperature grown quaternary Heusler-compound $\text{Co}_2\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Si}$ films on Ge(111)", *J. Appl. Phys.* 109, 07B113-1-3 (2011).
 71. M. Goto, H. Hata, A. Yamaguchi, H. Miyajima, Y. Nakatani, T. Yamaoka and Y. Nozaki, "Detection of vortex-core dynamics using current-induced self-bistable rectifying effect", *J. Phys.: Conf. Ser.* 266, 012080 (2011).
 72. Y. Kasatani, A. Yamaguchi, H. Miyajima and Y. Nozaki, "Detection of ferromagnetic resonance in a single-crystalline Fe wire using a rectifying effect", *J. Phys.: Conf. Ser.* 266, 012013 (2011).
 73. H. Itoh, S. Honda and J. Inoue, "Electronic structure and spin-injection of Co-based Heusler alloy/semiconductor junctions", *Key Engineering Materials* 470, 54-59 (2011).
 74. S. Nonoguchi, Y. Ando, Y. Togawa and T. Kimura, "Spin transport properties in polycrystalline Gd film and strip", *IEEE TENCON 2010*, 1881-1884 (2010).
 75. M. Miyata, S. Yakata, M. Hara, H. Wada and T. Kimura, "Control of vortex chirality in polygonal nanomagnets", *IEEE TENCON 2010*, 1878-1880 (2010).
 76. S. Yakata, Y. Ando and T. Kimura, "Optimization of cleaning condition of Permalloy/Cu interface for efficient spin injection", *IEEE TENCON 2010*, 126-128 (2010).
 77. S. Yakata, M. Miyata, S. Nonoguchi, H. Wada and T. Kimura, "Control of vortex chirality in regular polygonal nanomagnets using in-plane magnetic field", *Appl. Phys. Lett.* 97, 222503 (2010).
 78. T. Kimura and M. Hara, "Nonvolatile multiple-valued memory device using lateral spin valve", *Appl. Phys. Lett.* 97, 182501 (2010).
 79. K. Kasahara, K. Yamamoto, S. Yamada, T. Murakami, K. Hamaya, K. Mibu and M. Miyao, "Highly ordered Co_2FeSi Heusler alloys grown on Ge(111) by low-temperature molecular beam epitaxy", *J. Appl. Phys.* 107, 09B105 (2010).
 80. K. Yamane, K. Hamaya, Y. Ando, Y. Enomoto, K. Kasahara, K. Yamamoto, T. Sadoh and M. Miyao, "Effect of atomically controlled interfaces on Fermi-level pinning at

- metal/Ge interfaces”, Appl. Phys. Lett. 96, 162104 (2010).
81. S. Yamada, K. Hamaya, K. Yamamoto, T. Murakami, K. Mibu and M. Miyao, “Significant temperature-dependence of ferromagnetic properties for Co₂FeSi/Si(111) prepared by low-temperature molecular beam epitaxy”, Appl. Phys. Lett. 96, 082511-1-3 (2010).

(2)その他の著作物(総説、書籍など)

1. Y. Otani and T. Kimura: Non-Local Spin Valves in Metallic Nano-Structures, in Handbook of Spin Transport and Magnetism (Chapman and Hall/CRC, UK, 2011).
2. 木村崇: スピン流のナノエレクトロニクスへの展開, 応用物理, 第 81 巻, 第 1 号, pp. 0026-0032 (2012).
3. S. O. Valenzuela and T. Kimura: Experimental observation of the spin Hall effect using electronic nonlocal detection, in Spin Currents (Oxford University Press, UK, 2012).
4. T. Kimura: Introduction of Spin Torque, in Spin Currents (Oxford University Press, UK, 2012).
5. T. Kimura and Y. Otani: Spin torque due to nonlocal spin injection, in Spin Currents (Oxford University Press, UK, 2012).
6. 能崎幸雄, 石田尚子, 添野佳一, 小林尚史, 関口康爾: 高出力マイクロ波による強磁性共鳴を利用した CoCrPt グラニューラー膜の磁化反転, 磁気学会研究会資料, 第 188 巻, pp. 11-14 (2013).
7. 能崎幸雄, 石田尚子, 添野佳一, 関口康爾: マイクロ波磁場による垂直媒体の保磁力低減効果, IEICE Technical Report, Vol. MR2013-6, pp. 1-6 (2013).
8. 木村崇: 金属ナノ構造における純スピン流の高効率制御, 応用物理, 第 83 巻, 第 3 号, pp. 213-216 (2014).
9. 木村崇: 強磁性-常磁性 複合ナノ構造におけるスピン流の電氣的、及び熱的制御、応用物理学会 応用電子物性分科会 第 20 巻 159~163 (2014)
10. T. Kimura, Lateral spin transport, Handbook of Spintronics, Spinrigger in press

(3)国際学会発表及び主要な国内学会発表

- ① 招待講演 (国内会議 21 件、国際会議 15 件)

〈国際〉

1. T. Kimura “Large spin-dependent thermoelectric effects using CoFe-based alloy”, International Conference and Exhibition on Mesoscopic & Condensed Matter PhysicsUSA (June, 2015)
2. T. Kimura “Excellent Material for Thermal Spin Injection and Its Application”, EMN meeting, Thailand (May, 2015)
3. T. Kimura “Highly efficient thermal spin injection using CoFeAl injector”, InterMag 2015 China (May, 2015)
4. T. Kimura “Highly efficient thermal spin injection using CoFeAl injector”, Nano S&T, China (Oct, 2014)
5. K. Hamaya: “Germanium Spintronics with Highly Spin-polarized Electrodes”, 2014 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices, Kanazawa, Japan (Jul. 2014).
6. T. Kimura: “Highly efficient thermal spin injection using CoFeAl injector”, Energy Materials Nanotechnology (EMN) Fall Meeting, Orland, USA (Dec., 2013).
7. T. Kimura: “Generation of large spin current in metallic nanostructures and its application”, Energy Materials Nanotechnology (EMN) East Meeting, Beijing, China, (Sep., 2013).
8. K. Nakada, S. Yakata and T. Kimura: “Noise-induced phenomena in spintronic devices”, FIRST Aihara Inovative Mathematical Modeling Project Seminar, Tokyo, Japan (Jan., 2013).

9. T. Kimura: “Efficient generation and absorption of pure spin current in metallic structure”, 2nd ASRC International Workshop on Magnetic Materials and Nanostructures (Jan., 2012).
10. K. Hamaya: “Electrical spin injection and detection into silicon and germanium through Schottky-tunnel-barrier contacts”, International Workshop for Group-IV Spintronics, Osaka (Jan., 2012).
11. K. Hamaya and M. Miyao: “High-quality epitaxial growth of ferromagnetic alloys on group-IV semiconductors for spintronic devices”, Materials Research Society (MRS) 2010 Fall Meeting, Boston, USA (Dec. 2010).
12. Y. Nozaki and A. Yamaguchi: “Magnetic dynamics of patterned ferromagnetic thin films in a microwave frequency regime”, The Workshop on Frontier of Nanospectroscopy, Tokyo, Japan (Aug. 2010).
13. Y. Nozaki, A. Kato, K. Noda, Y. Kanai, T. Tanaka and K. Matsuyama: “Micromagnetic Study on MAMR in Perpendicular Medium with Intergrain Exchange Coupling”, International Symposium on Advanced Magnetic Materials and Applications (ISAMMA) 2010, Sendai, Japan (Jul. 2010).
14. T. Kimura: “Electrical detection of spin Hall effects in 3d, 4d transition metals”, The 4th International Workshop on Spin Currents, Sendai, Japan (Feb. 2010).
15. T. Kimura: “Electrical detection of spin Hall effects in metallic systems”, 449. Wilhelm and Else Heraeus Seminar, Bad Honnef, Germany, (Jan. 2010).

〈国内〉

1. 木村崇: 横型スピンバルブ素子における熱流の影響と熱流を用いた高効率スピン流生成・第23回 日本磁気学会 光機能性材料・デバイス専門研究, 東京, 2015年3月
2. 浜屋宏平: メタル・ソースドレイン型スピントランジスタの創成に向けて, 応用電子物性分科会・スピントロニクス研究会共同主催研究会「スピントロニクスの最前線」, 東京, 2014年12月.
3. 浜屋宏平: ホイスラー合金を用いたゲルマニウムスピントロニクス, 「スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワーク」構築に向けて, 東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究 S, 東京, 2014年12月.
4. 木村崇: 強磁性-常磁性 複合ナノ構造におけるスピン流の電氣的、及び熱的制御: 応用物理学会 応用電子物性分科会, 東京, 2014年11月.
5. 能崎幸雄: 次世代磁気記録へのマイクロ波技術の応用, 電気学会マグネティックス研究会, 金沢, 2013年12月.
6. 木村崇: ナノ構造で発現する不思議な電気の流れ方, 九州大学 ESSP 公開講演会 2013年12月.
7. 木村崇: 磁石を使ったグリーンナノエレクトロニクスグリーンエレクトロニクス, 関西工学会教育協会高専部会研究集会, 大阪, 2013年6月.
8. 能崎幸雄, 石田尚子, 添野佳一, 関口康爾: マイクロ波磁場による垂直媒体の保磁力低減効果, 電子情報通信学会 磁気記録・情報ストレージ研究会(MRIS), 東京, 2013年7月.
9. 浜屋宏平: 低温形成ホイスラー合金を用いた純スピン流の生成・検出, 第60回応用物理学会春季学術講演会, 厚木, 2013年3月.
10. 能崎幸雄, 石田尚子, 添野佳一, 関口康爾: 高出力マイクロ波による強磁性共鳴を利用した CoCrPt グラニューラー膜の磁化反転, 日本磁気学会第183回研究会「磁化のダイナミクスと磁気緩和の物理」, 東京, 2012年3月.
11. 能崎幸雄, 畑拓史, 児玉基, 後藤穰, 山口明啓: 強磁性薄膜パターンに閉じ込められた磁気渦対の共振スペクトルを用いたスピندانピング機構の解析, 日本磁気学会第183回研究会「磁化のダイナミクスと磁気緩和の物理」, 東京, 2012年3月.
12. 木村崇: 金属接合における高効率スピン注入とスピン吸収, スピン流と熱効果の新現象, 仙台, 2011年11月.

13. 木村崇: 金属ナノ構造におけるスピン流制御と高機能スピデバイス開発の研究, 第 66 回日本物理学会年次大会, 新潟, 2011 年 9 月.
14. 冢形論: 微小強磁性多角形における磁気渦の静的および動的的特性, 第 44 回ナノマグネティックス専門研究会, 東京, 2011 年 9 月.
15. 伊藤博介, 本多周太, 強磁性金属/半導体接合の電子状態とスピン注入, 第 13 回シリサイド系半導体・夏の学校, 京都, 2011 年 7 月.
16. 浜屋宏平, 安藤裕一郎, 宮尾正信: ショットキー型トンネル接合電極を用いたシリコンへの電氣的スピン注入と検出, 第 29 回「スピエレクトロニクス専門研究会」(日本磁気学会), 東京, 2010 年 3 月.
17. 笠原健司, 安藤裕一郎, 浜屋宏平, 木村 崇, 澤野憲太郎, 宮尾正信: Fe₃Si/Si ショットキー障壁を介した Si への電氣的スピン注入・検出, 第 57 回応用物理学関係連合講演会, 平塚, 2010 年 3 月. (奨励賞記念講演)
18. 安藤裕一郎, 上田公二, 浜屋宏平, 澤野憲太郎, 木村崇, 宮尾正信: Fe₃Si/Si ショットキートンネルバリアを介した Si へのスピン注入とその電氣的検出, 第 57 回応用物理学関係連合講演会, 平塚, 2010 年 3 月. (奨励賞受賞記念講演)
19. 木村崇: 3d, 4d 遷移金属におけるスピンホール効果, スピンフィルター&スピンホール効果に関する研究会, 仙台, 2009 年 12 月.
20. 浜屋宏平, 山田晋也, 笠原健司, 安藤裕一郎, 澤野憲太郎, 宮尾正信: スピン注入を目指した強磁性ホイスラー合金/SiGe ヘテロ構造の高品質形成, 第 14 回「半導体スピ工学の基礎と応用」研究会 (PASPS14), 横浜, 2009 年 12 月.
21. 能崎幸雄, 成田直幸, 田中輝光, 松山公秀: マイクロプレーナ線路を用いたマイクロ波アシスト記録実験, 電子情報通信学会 磁気記録・情報ストレージ(MR)研究会, 福岡, 2009 年 10 月.

② 口頭発表 (国内会議 59件、国際会議 28 件)

〈国際〉

1. K. Ohnishi, Y. Ono, M. Sakamoto, T. Kimura: "Spin current insulation at a superconducting/normal metal interface", International Workshop "Nano-Spin Sciences", Karatsu, Japan (Feb. 2015).
2. T. Nomura, G. Uematsu, and T. Kimura: "Thermally-driven spin injection and spin-injection-induced heat ejection", International Workshop "Nano-Spin Sciences", Karatsu, Japan (Feb. 2015).
3. K. Yamanoi, Y. Yokotani, and T. Kimura: "Detection of heating effect induced by spin dynamics in a ferromagnetic thin film", International Workshop "Nano-Spin Sciences", Karatsu, Japan (Feb. 2015).
4. Y. Takaira, S. Hu, T. Nomura, and T. Kimura: "Spin transports and its control in nonmagnetic bended wires", Karatsu, Japan (Feb. 2015).
5. K. Yamasaki, S. Oki, S. Yamada and K. Hamaya: "Thermally induced spin injection in Co₂FeSi/Cu lateral spin-valve devices", The 19th International Conference on Ternary and Multinary Compounds (ICTMC-19), Niigata, Japan (Sep. 2014).
6. S. Hu and T. Kimura, "Efficient thermal spin injection using CoFeAl injectors", International Symposium on Advanced Nanodevice and Nanotechnology, Hawaii, USA (Dec. 2013).
7. S. Hu and T. Kimura: "Giant thermal spin accumulation in NLSV structure by using CoFeAl/Cu interface at room temperature", The 58th Annual Magnetism and Magnetic Materials Conference (MMM2013), Denver, USA, (Nov. 2013).
8. X. Cui, S. Yakata and T. Kimura: "Detection of nonlinear vortex oscillation under strong RF magnetic field using anisotropic magnetoresistance effect", The 58th Annual Magnetism and Magnetic Materials Conference (MMM2013), Denver, USA, (Nov. 2013).

- 2013).
9. S. Yamada, K. Tanikawa, S. Oki, Makoto Kawano, M. Miyao and K. Hamaya: “Marked difference in structural stability between $\text{Co}_2\text{FeSi}/\text{Si}(111)$ and $\text{Co}_2\text{FeAl}/\text{Si}(111)$ heterointerfaces in post-growth annealing conditions”, International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM) 2013, Fukuoka, Japan, (Sep. 2013).
 10. S. Yakata and T. Kimura: “Wide-range tuning of vortex-core resonance using asymmetric confined potential in a triangular permalloy dot”, The 8th International Symposium on Metallic Multilayers (MML2013), Kyoto, Japan, (May 2013).
 11. S. Yamada, M. Kawano, K. Tanikawa, K. Sawano, M. Miyao and K. Hamaya: “A strain-free epitaxial Ge/metal/Si vertical structure with atomically smooth heterointerfaces”, 2013 MRS Spring Meeting & Exhibit, San Francisco, USA (Apr. 2013).
 12. S. Bakaul, S. Hu and T. Kimura: “Temperature gradient assisted spin transport in nonlocal lateral spin valves”, APS March Meeting 2013, Baltimore, USA (Mar. 2013).
 13. Y. Nozaki, N. Ishida, Y. Soeno and K. Sekiguchi: “Pulse duration dependence of microwave-assisted magnetization reversal in CoCrPt-based granular medium”, The 12th Joint MMM-Intermag Conference, Chicago, USA (Jan. 2013).
 14. S. Oki, M. Kawano, K. Tanikawa, H. Aoki, S. Yamada, M. Miyao and K. Hamaya: “Generation and detection of a pure spin current using Co-based Heusler-alloy spin injector and detector: Comparison of Co_2FeSi and Co_2MnSi ”, ECS Pacific RIM Meeting (PRiME) 2012, Hawaii, USA (Oct. 2012).
 15. Y. Fujita, S. Yamada, S. Oki, Y. Maeda, M. Miyao and K. Hamaya: “Room-temperature spin polarization of epitaxial Fe_3Si films with D03-ordered structures estimated by tunneling magnetoresistance measurements”, International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM) 2012, Kyoto, Japan (Sep. 2012).
 16. M. Kawano, S. Yamada, S. Oki, K. Tanikawa, M. Miyao and K. Hamaya: “Molecular beam epitaxy growth of Co_2MnSi films on group-IV semiconductors”, International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM) 2012, Kyoto, Japan (Sep. 2012).
 17. S. Nonoguchi, T. Nomura, T. Matsunaga K. Furukawa, M. Hara and T. Kimura: “Magnetic and transport properties of submicron Gd strip”, The 19th International Conference on Magnetism (ICM2012), Busan, Korea (Jul. 2012).
 18. S. Yakata, M. Miyata, K. Kiseki, H. Wada, T. Kimura: “Position dependence of vortex core oscillation in polygonal nanomagnets”, The 19th International Conference on Magnetism (ICM2012), Busan, Korea (Jul. 2012).
 19. T. Kimura, S. Oki, S. Yamada, M. Miyao and K. Hamaya: “Pure spin current generation using highly spin polarized Co_2FeSi electrodes”, The 19th International Conference on Magnetism (ICM2012), Busan, Korea (Jul. 2012).
 20. S. Yakata, M. Miyata, K. Kiseki, H. Wada and T. Kimura: “Formation of double vortices and reconfigurable dynamic properties using an isosceles-triangular Py nanodot”, IEEE International Magnetic (Intermag) Conference 2012, Vancouver, Canada (May 2012).
 21. Y. Kasatani, A. Yamaguchi, K. Sekiguchi and Y. Nozaki: “Modulation of resonant frequency of perpendicular standing spin waves in multilayered ferromagnetic wires”, IEEE International Magnetism (Intermag) Conference 2012, Vancouver, Canada (May 2012).
 22. K. Hosono, J. Shibata, H. Kohno and Y. Nozaki: “Spin torque induced from diffusive spin current”, IEEE International Magnetic (Intermag) Conference 2012, Vancouver, Canada (May 2012).
 23. N. Ishida, Y. Soeno, K. Sekiguchi and Y. Nozaki: “Microwave-power dependence of switching field required for MAMR in CoCrPt- SiO_2 perpendicular medium”, International Conference of the Asian Union of Magnetism Societies (ICAUMS) 2012, Nara, Japan (Oct. 2012).
 24. S. Yakata, Y. Ando and T. Kimura: “Optimization of cleaning condition of

- Permalloy/Cu interface for efficient spin injection”, IEEE TENCON 2010, Fukuoka, Japan (Nov. 2010).
25. H. Itoh and S. Honda: “Electronic structure and spin-dependent transport in ferromagnetic silicide and Heusler alloy/ semiconductor junctions”, Materials Research Society 2010 Fall Meeting, Boston, USA (Nov. 2010).
 26. K. Hosono, A. Yamaguchi, Y. Nozaki and G. Tatara: “Contribution of spin current in anomalous Nernst effect”, International Conference on Physics of Semiconductor (ICPS-30), Seoul, Korea (Jul. 2010).
 27. Y. Nozaki, Naoyuki, N. Narita, K. Noda, T. Tanaka and K. Matusyama: “Experimental study on optimum frequency for microwave-assisted magnetization reversal in perpendicularly magnetized Co/Pd multilayer”, The 11th Joint MMM-Intermag Conference, Washington DC, USA (Jan. 2010).
 28. Y. Ando, K. Kasahara, Y. Enomoto, K. Yamane, K. Hamaya, K. Sawano, T. Kimura and M. Miyao: “Nonlocal voltage detection of spin transport in silicon using Fe₃Si/Si Schottky tunnel contacts”, The 11th Joint MMM-Intermag Conference, Washington DC, USA (Jan. 2010).

〈国内〉

1. 笠谷雄一, 山田晋也, 伊藤博介, 宮尾正信, 浜屋宏平, 能崎幸雄: ホイスラー合金 Co₂FeSi 薄膜における Gilbert ダンピング定数の異方性, 日本物理学会 第 70 回年次大会, 東京, 2015 年 3 月.
2. 山野井一人, 横谷有紀, 家形諭, 木村崇: スピンドYNAMIXに起因した磁性薄膜ヒーティング効果の検出, 日本物理学会 第 70 回年次大会, 東京, 2015 年 3 月.
3. 野村竜也, 植松銀河, 日出柄誠, 木村崇: 横型スピバルブを用いた依存ペルチェ効果の検出, 日本物理学会 第 70 回年次大会, 東京, 2015 年 3 月.
4. 高以來優, 胡少杰, 木村崇: 曲がり有する非磁性細線におけるスピンの拡散伝導とその制御, 日本物理学会 第 70 回年次大会, 東京, 2015 年 3 月.
5. 黒川孝幸, 沖宗一郎, 山田晋也, 金島岳, 浜屋宏平: 2 端子 Co₂FeSi スピン注入による巨大純スピンの生成, 第 62 回応用物理学会春季学術講演会, 平塚, 2015 年 3 月.
6. 大西紘平, 小野雄馬, 坂本美智子, 木村崇: 超伝導体/常伝導体界面における純スピンの反射現象, 量子ナノスピ物性研究センター研究会「ナノ物理研究の最前線」, 糸島, 2015 年 2 月.
7. 岡野元基, 能崎幸雄: ナノ秒パルス印加下でのマイクロ波アシスト磁化反転速度に関する研究, 電気学会マグネティクス研究会, 浜松市, 2014 年 12 月.
8. 河野慎, 山東浩平, 沖宗一郎, 山田晋也, 金島岳, 浜屋宏平: 単結晶 Ge/Fe₃Si 構造を介したスピンの伝導測定, The 19th Physics and Applications of Spin-related Phenomena in Semiconductors (PASPS-19), 東京, 2014 年 12 月.
9. 岡部京太, 川北直史, 野村竜也, 家形諭, 木村崇: NiO 薄膜を介した 3d 伝導電子のスピンの輸送特性, 日本物理学会 第 120 回九州支部例会, 熊本, 2014 年 12 月.
10. 横谷有紀, 山野井一人, 家形諭, 木村崇: ナノ磁性体中のスピンドYNAMIXによるエネルギー散逸機構, 日本物理学会 第 120 回九州支部例会, 熊本, 2014 年 12 月.
11. 植松銀河, 野村竜也, 胡少杰, 日出柄誠, 木村崇: CoFe 系合金における熱的スピンの励起と非線形スピンの吸収効果, 日本物理学会 第 120 回九州支部例会, 熊本, 2014 年 12 月.
12. 坂本美智子, 小野雄馬, 大西紘平, 木村崇: 多端子スピンの生成源を用いたクーパ対形成ダイナミクス of 解明, 日本物理学会 第 120 回九州支部例会, 熊本, 2014 年 12 月.
13. 高以來優, 胡少杰, 野村竜也, 木村崇: 高スピン偏極ハード磁性体を用いた 3 次元スピンの歳差運動の実現とスピンの検出, 日本物理学会 第 120 回九州支部例会, 熊本,

2014年12月.

14. 日出柄誠, 崔曉敏, 木村崇: 強磁性三角ナノリングの静的、及び動的磁化状態の検出, 日本物理学会 第120回九州支部例会, 熊本, 2014年12月.
15. 小野雄馬, 大西紘平, 坂本美智子, 木村崇: 超伝導転移温度近傍におけるCu/Nb二層膜のスピン輸送特性, 日本物理学会 2014年秋季大会, 春日井, 2014年9月.
16. 川北直史, 岡部京太, 大西紘平, 木村崇: スピン偏極電極を用いた磁性酸化物薄膜における電界誘起相転移現象の観測, 日本物理学会 2014年秋季大会, 春日井, 2014年9月.
17. 山野井一人, 胡少杰, 姫野滉盛, 横谷有紀, 家形諭, 木村崇: CoFe系合金における静磁的相互作用を用いたスピンドイナミクスの変調, 日本物理学会 2014年秋季大会, 春日井, 2014年9月.
18. 野村竜也, 植松銀河, 胡少杰, 大西紘平, 木村崇: 熱スピン注入による間接的スピン信号の検出, 日本物理学会 2014年秋季大会, 春日井, 2014年9月.
19. 日出柄誠, 崔曉敏, 大西紘平, 木村崇: 多角形状ナノ磁性体の磁気渦形成過程の不安定性とスピンドイナミクス, 日本物理学会 2014年秋季大会, 春日井, 2014年9月.
20. 後藤穰, 棚澤友幾, 関口康爾, 能崎幸雄: 強磁性交差細線を用いた磁気反渦の高効率生成, 日本物理学会 2014年秋季大会, 春日井, 2014年9月.
21. 岡野元基, 能崎幸雄: ナノ秒幅インパルス信号を重畳したマイクロ波磁場によるマイクロ波アシスト磁化反転実験, 第38回日本磁気学会学術講演会, 横浜, 2014年9月.
22. 後藤穰, 棚澤友幾, 関口康爾, 能崎幸雄: X型強磁性交差細線における磁気反渦生成過程, 第38回日本磁気学会学術講演会, 横浜, 2014年9月.
23. 柳澤翔吾, 能崎幸雄: 弾性表面波を用いた磁化ダイナミクスの励起とその電気的検出, 電気学会マグネティックス研究会, 安曇野, 2014年8月.
24. 大西紘平, 小野雄馬, 木村崇: Nb/Cu/NiFe 三層構造を用いた超伝導状態によるスピン流反射現象の測定, 第69回日本物理学会年次大会, 平塚, 2014年3月.
25. 山寄賢人, 沖宗一郎, 谷川昂平, 山田晋也, 宮尾正信, 浜屋宏平: ホイスラー合金/Cu接合を介した熱流によるスピン流の生成・検出, 2014年春期日本金属学会 第154回講演大会, 東京, 2014年3月.
26. 岡野元基, 能崎幸雄: ナノ秒パルス印加下でのマイクロ波アシスト磁化反転速度に関する研究, 電気学会マグネティックス研究会, 浜松, 2014年2月.
27. 野村竜也, 胡少杰, 木村崇: ナノピラー型非局所スピンバルブにおける高効率純スピン流の生成, 日本物理学会 2013年秋季大会, 徳島, 2013年9月.
28. 谷川昂平, 平山純也, 山田晋也, 河野慎, 宮尾正信, 浜屋宏平: 原子マッチング界面を利用したFeRh合金薄膜の低温エピタキシャル成長, 第37回日本磁気学会学術講演会, 札幌, 2013年9月.
29. 沖宗一郎, 山寄賢人, 谷川昂平, 山田晋也, 宮尾正信, 浜屋宏平: ホイスラー合金2層膜を用いた純スピン流の生成・検出とその局所領域機能制御, 第37回日本磁気学会学術講演会, 札幌, 2013年9月.
30. 笠谷雄一, 能崎幸雄: Fe単結晶薄膜におけるダンピング定数の結晶方位依存性, 第37回日本磁気学会学術講演会, 札幌, 2013年9月.
31. 渡辺翔, 小林尚史, 関口康爾, 能崎幸雄: 拡散スピン流によるスピントランスファートルクの測定, 第37回日本磁気学会学術講演会, 札幌, 2013年9月.
32. 野村竜也, 胡少杰, 木村崇: 非局所スピンバルブ測定におけるベース信号の抑制, 第68回日本物理学会年次大会, 東広島, 2013年3月.
33. S. Yakata, K. Kiseki, M. Miyata, H. Wada and T. Kimura: Magnetic properties of double vortices stabilized in isosceles triangular ferromagnetic dots, 第17回半導体スピン工学の基礎と応用, 福岡, 2012年12月.

34. S. Bakaul and T. Kimura: Magnetic domain wall and associated intrinsic resistivity in half metallic manganite, 第 17 回半導体スピン工学の基礎と応用, 福岡, 2012 年 12 月.
35. 谷川昂平, 山田晋也, 沖宗一郎, 河野慎, 宮尾正信, 浜屋宏平: IV 族半導体上における Co 系ホイスラー合金薄膜の室温エピタキシャル成長, 第 42 回結晶成長国内会議, 福岡, 2012 年 11 月.
36. 後藤穰, 児玉基, 関口康爾, 能崎幸雄: 整流測定法を利用した磁気渦の軌道検出, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 横浜, 2012 年 9 月.
37. 石田尚子, 添野佳一, 関口康爾, 能崎幸雄: 垂直磁化グラニュー膜のマイクロ波アシスト磁化反転実験, 第 67 回日本物理学会年次大会, 西宮, 2012 年 3 月.
38. 野々口誠二, 野村竜也, 安藤裕一郎, 木村 崇: 厚膜 Py ナノドットにおける側面スピン吸収効果, 第 35 回日本磁気学会学術講演会, 新潟, 2011 年 9 月.
39. 宮田真彦, 鬼石宏平, 家形 諭, 和田裕文, 木村 崇: 多角微小強磁性体中に安定化する磁気渦の動的特性, 第 35 回日本磁気学会学術講演会, 新潟, 2011 年 9 月.
40. 小林尚史, 山口明啓, 能崎幸雄: コプレーナ線路を用いた強磁性薄膜パターンの高感度 FMR 検出に関する研究, 第 35 回日本磁気学会学術講演会, 新潟, 2011 年 9 月.
41. 石田尚子, 小林尚史, 上田浩史, 能崎幸雄: グラニュー CoCrPt 薄膜の強磁性共鳴スペクトル測定, 第 35 回日本磁気学会学術講演会, 新潟, 2011 年 9 月.
42. 笠谷雄一, 山口明啓, 能崎幸雄: 強磁性複合膜細線中におけるスピン波の共鳴周波数変調, 第 35 回日本磁気学会学術講演会, 新潟, 2011 年 9 月.
43. 本多周太, 伊藤博介: パーマロイ薄膜における純スピン注入磁化反転シミュレーション, 第 35 回日本磁気学会学術講演会, 新潟, 2011 年 9 月.
44. 沖宗一郎, 橋本直樹, 前田雄也, 山田晋也, 木村崇, 宮尾正信, 浜屋宏平: ホイスラー合金/Cu 横型スピンバルブ素子におけるスピン伝導, 第 35 回日本磁気学会学術講演会, 新潟, 2011 年 9 月.
45. 畑拓志, 児玉基, 山口明啓, 能崎幸雄: 動的相互作用を考慮した磁気渦対のジャイロ運動に関する解析, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 富山, 2011 年 9 月.
46. 笠谷雄一, 佐藤奈々, 山田晋也, 宮尾正信, 浜屋宏平, 能崎幸雄: ホイスラー合金薄膜におけるダンピング定数の結晶方位依存性, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 富山, 2011 年 9 月.
47. 真崎紘平, 橋本直樹, 前田雄也, 木村崇, 宮尾正信, 浜屋宏平: ホイスラー合金を有する横型スピンバルブ素子におけるスピンホール効果の観測, 日本物理学会 2011 年春季大会, 新潟, 2011 年 3 月.
48. 沖宗一郎, 橋本直樹, 山田晋也, 村上達彦, 木村崇, 宮尾正信, 浜屋宏平: 4 元系ホイスラー合金を用いた純スピン流の検出, 日本物理学会 2011 年春季大会, 新潟, 2011 年 3 月.
49. 野々口誠二, 宮田真彦, 安藤裕一郎, 家形諭, 木村崇: V 字型強磁性細線によるスピン注入と蓄積スピン方向の制御, 第 34 回日本磁気学会学術講演会, 茨城, 2010 年 9 月.
50. 笠谷雄一, 山口明啓, 能崎幸雄: 整流効果を用いた強磁性複合膜細線におけるスピン波励起の測定, 第 34 回日本磁気学会学術講演会, 茨城, 2010 年 9 月.
51. 細野一弘, 山口明啓, 能崎幸雄, 多々良源: 非局所スピン注入による拡散スピン流へのスピン軌道相互作用への影響, 第 34 回日本磁気学会学術講演会, 茨城, 2010 年 9 月.
52. 本多周太, 井上順一郎, 伊藤博介: スピン軌道相互作用を取り入れた Fe/GaAs/Fe 接合における磁気抵抗効果, 第 34 回日本磁気学会学術講演会, 茨城, 2010 年 9 月.
53. 後藤穰, 畑拓志, 山口明啓, 能崎幸雄, 仲谷栄伸: Fe₁₉Ni₈₁ 強磁性円盤における磁

気渦の共鳴スペクトルと磁区構造依存性, 日本物理学会 2010 年秋季大会, 大阪, 2010 年 9 月.

54. 細野一弘, 能崎幸雄, 山口明啓, 多々良源: スピン軌道相互作用による拡散スピンの補正, 日本物理学会 2010 年秋季大会, 大阪, 2010 年 9 月.
55. 伊藤博介, 本多周太: Fe₃Si/Si 接合の電子状態, 第 71 回応用物理学会学術講演会, 長崎, 2010 年 9 月.
56. 山根一高, 安藤裕一郎, 笠原健司, 榎本雄志, 山本健士, 浜屋宏平, 澤野憲太郎, 木村崇, 宮尾正信: シリコン横型スピン伝導素子における Fe₃Si/Si ショットキー接合を用いた非局所抵抗および局所抵抗の測定, 第 14 回「半導体スピン工学の基礎と応用」研究会 (PASPS14), 横浜, 2009 年 12 月.
57. 成田直幸, 能崎幸雄, 田中輝光, 松山公秀: 交換結合ナノピラーにおけるマイクロ波アシスト磁化反転挙動の軟磁性層厚依存性, 電子情報通信学会 磁気記録・情報ストレージ(MR)研究会, 福岡, 2009 年 10 月.
58. 加藤歩, 成田直幸, 野田憲司, 田中輝光, 能崎幸雄, 松山公秀: マイクロ波アシスト垂直磁気記録における記録トラック幅のオシレーション周波数依存性, 電子情報通信学会 磁気記録・情報ストレージ(MR)研究会, 福岡, 2009 年 10 月.
59. 本多周太, 井上順一郎, 伊藤博介: スピン軌道相互作用を取り入れた Fe/GaAs 接合におけるコンダクタンスのスピン分極率, 第 57 回応用物理学会関係連合講演会, 平塚, 2009 年 3 月.

③ ポスター発表 (国内会議 35 件、国際会議 102 件)

〈国際〉

1. M. Sakamoto, Y. Ono, K. Ohnishi, T. Kimura: “Possibility to control the Cooper-pair formation dynamics using multi-terminal spin injection”, International Workshop “Nano-Spin Sciences”, Karatsu, Japan (Feb. 2015).
2. M. Kawakita, K. Okabe, T. Nomura, S. Yakata, and T. Kimura: “Modulation of spin current transport using magnetic oxide film”, Karatsu, Japan (Feb. 2015).
3. Y. Ono, K. Ohnishi, S. Yakata, and T. Kimura: “Spin dynamics in a Nb/Cu/NiFe tri-layered structure”, International Workshop “Nano-Spin Sciences”, Karatsu, Japan, (Feb. 2015).
4. G. Uematsu, T. Nomura, S. Hu, M. Hidegara, and T. Kimura: “Enhancement of thermal spin signal and suppression of anomalous Nernst effect in the CoFeAl/Cu/CoFeAl lateral spin valve”, International Workshop “Nano-Spin Sciences”, Karatsu, Japan (Feb. 2015).
5. K. Ohnishi, Y. Ono, T. Nomura, and T. Kimura: “Spin current reflection due to a superconducting gap in a Nb/Cu/NiFe tri-layered structure”, International Union of Materials Research Society International Conference in Asia (IUMRS-ICA) Fukuoka, Japan (Aug. 2014).
6. Y. Ono, K. Ohnishi, S. Yakata, and T. Kimura: “Spin dynamics in a Nb/Cu/NiFe tri-layered structure”, International Union of Materials Research Society International Conference in Asia (IUMRS-ICA), Fukuoka, Japan (Aug. 2014).
7. S. Hu, and T. Kimura: “Efficient lateral spin valve device consisting of different ferromagnetic nanopillars”, International Union of Materials Research Society International Conference in Asia (IUMRS-ICA), Fukuoka, Japan (Aug. 2014).
8. M. Kawakita, K. Ohnishi, S. Yamada, and T. Kimura: “Control of GdO_x transform by spin-polarized nanogap electrodes”, International Union of Materials Research Society International Conference in Asia (IUMRS-ICA), Fukuoka, Japan (Aug. 2014).
9. T. Nomura, and T. Kimura: “Spin precession due to in-plane magnetic field in a CoFeAl/Cu/CoFeAl metallic lateral spin valve”, International Union of Materials Research Society International Conference in Asia (IUMRS-ICA), Fukuoka, Japan (Aug. 2014).

10. M. Hidegara, Tatsuya Nomura, Kohei Ohnishi, Masahiro Hara, and Takashi Kimura: “Magnetic and transport properties of submicron Gd strip”, International Union of Materials Research Society International Conference in Asia (IUMRS-ICA), Fukuoka, Japan (Aug. 2014).
11. X. Cui, S. Yakata, and T. Kimura: “2nd harmonic detection of nonlinear vortex oscillation under strong RF magnetic field based on the anisotropic magnetoresistance effect”, International Union of Materials Research Society International Conference in Asia (IUMRS-ICA), Fukuoka, Japan (Aug. 2014).
12. S. Yamada, M. Miyao, and K. Hamaya: “Atomically Controlled Heteroepitaxy of Ge on a Ferromagnetic Heusler Alloy for a Vertical-Type Spin Transistor”, 7th International Silicon-Germanium Technology and Device Meeting (ISTDM), Singapore (Jun. 2014).
13. S. Yamada, M. Kawano, K. Tanikawa, M. Miyao, and K. Hamaya: “Epitaxial growth and electrical properties of Ge/Fe₃Si/Si vertical structures”, International Union of Materials Research Society-International Conference in Asia (IUMRS-ICA), Bangalore, India (Dec. 2013).
14. G. Okano and Y. Nozaki: “Experimental study on switching time of microwave-assisted magnetization reversal in 2 μm wide NiFe wires”, 59th Annual Magnetism and Magnetic Materials Conference, Honolulu, USA (Nov.2014).
15. M. Goto, T. Tanazawa, K. Sekiguchi, and Y. Nozaki: “Stochastic magnetization process of antivortex formation in X-shaped cross wire investigated by magnetoresistance measurement and magnetic force microscopy”, 59th Annual Magnetism and Magnetic Materials Conference, Honolulu, USA (Nov.2014).
16. S. Watanabe, T. Tanazawa, T. Kobayashi, and Y. Nozaki: “Modulation of Gilbert damping caused by absorbing a pure spin current in lateral spin-valve structures”, IEEE International Conference on Microwave Magnetics 2014, Sendai, Japan (Jun. 2014).
17. T. Furukawa and H. Itoh: “Spin polarization and geometric structure of interface in Fe₃Si”, The 59th Annual Magnetism and Magnetic Materials Conference (MMM2014), Honolulu, USA (Nov. 2014).
18. S. Honda and T. Kimura: “Magnetization reversal of permalloy film by pure spin current injection: relation between reversal time and injected surface”, Computational Science Workshop 2014 (CSW2014), Tsukuba, Japan (Aug. 2014).
19. G. Okano and Y. Nozaki: “Experimental study on switching time of microwave-assisted magnetization reversal in 2 μm wide NiFe wires”, The 59th Annual Magnetism and Magnetic Materials Conference (MMM2014), Honolulu, USA (Nov. 2014).
20. M. Goto, T. Tanazawa, K. Sekiguchi and Y. Nozaki: “Stochastic magnetization process of antivortex formation in X-shaped cross wire investigated by magnetoresistance measurement and magnetic force microscopy”, The 59th Annual Magnetism and Magnetic Materials Conference (MMM2014), Honolulu, USA (Nov. 2014).
21. S. Honda and T. Kimura: “Magnetization reversal of permalloy film by pure spin current injection: relation between reversal time and injected surface”, Computational Science Workshop 2014, Tsukuba, Japan (Aug. 2014).
22. S. Honda and T. Kimura: “Magnetization Reversal Process with Pure Spin Current injections”, 2014 Tsukuba Nanotechnology Symposium, Tsukuba, Japan (Jul. 2014).
23. S. Watanabe, T. Tanazawa, T. Kobayashi and Y. Nozaki: “Modulation of Gilbert damping caused by absorbing a pure spin current in lateral spin-valve structures”, International Conference on Microwave Magnetics (ICMM) 2014, Sendai, Japan (Jul. 2014).
24. K. Yamasaki, S. Oki, K. Tanikawa, S. Yamada, M. Miyao and K. Hamaya: “Large effect of Peltier cooling on nonlocal spin signals in Co-based Heusler alloys/Cu lateral spin valves”, The 58th Annual Magnetism and Magnetic Materials (MMM2013), Denver, USA, (Nov. 2013).
25. S. Oki, K. Yamasaki, K. Tanikawa, S. Yamada, M. Miyao and K. Hamaya: “Lateral spin-valve devices with two different epitaxial Heusler-alloy electrodes”, International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM) 2013, Fukuoka, Japan (Sep.

- 2013).
26. Y. Fujita, S. Yamada, Y. Maeda, M. Miyao and K. Hamaya: “Magnetic Tunnel Junctions with an L2₁-Co₂FeSi Electrode on Si Fabricated by Room-Temperature Molecular Beam Epitaxy”, The 8th International Conference on Silicon Epitaxy and Heterostructures (ICSI-8), Fukuoka, Japan (Jun. 2013).
 27. K. Tanikawa, S. Oki, S. Yamada, M. Kawano, M. Miyao and K. Hamaya: “Improvement of Co₂FeSi_{0.5}Al_{0.5}/Si Heterointerfaces for Spin Injectors in Silicon Spintronics”, The 8th International Conference on Silicon Epitaxy and Heterostructures (ICSI-8), Fukuoka, Japan (Jun. 2013).
 28. S. Hu and T. Kimura: “Asymmetric field dependence of nonlocal spin valve signal under high bias current injection”, The 8th International Symposium on Metallic Multilayers (MML2013), Kyoto, Japan (May 2013).
 29. X. Cui, S. Yakata and T. Kimura: “Sensitive detection of vortex-core dynamics under RF magnetic field using anisotropic”, The 8th International Symposium on Metallic Multilayers (MML2013), Kyoto, Japan (May 2013).
 30. K. Tanikawa, S. Oki, S. Yamada, M. Kawano, H. Aoki, M. Miyao and K. Hamaya: “Room-temperature grown quaternary Co-based Heusler compound films on Si(111)”, The 8th International Symposium on Metallic Multilayers (MML2013), Kyoto, Japan (May 2013).
 31. S. Oki, S. Yamada, M. Miyao and K. Hamaya: “Highly ordered epitaxial growth of Co₂FeSi/Fe₃Si bilayer on Si(111) by using low-temperature molecular beam epitaxy”, The 8th International Symposium on Metallic Multilayers (MML2013), Kyoto, Japan (May 2013).
 32. K. Tanikawa, S. Oki, S. Yamada, K. Mibu, M. Miyao and K. Hamaya: “Control of room-temperature spin polarization in Heusler-compound Fe_{3-x}Co_xSi films grown on Si by substitution of Co for Fe”, The 12th Joint MMM-Intermag Conference, Chicago, USA (Jan. 2013).
 33. M. Goto, K. Sekiguchi and Y. Nozaki: “Quantitative analysis of spin torque effect in the magnetic vortex structure”, International Conference of the Asian Union of Magnetics Societies (ICAUMS) 2012, Nara, Japan (Oct. 2012).
 34. Q. Dang, K. Kiseki, S. Yakata, H. Wada and T. Kimura: “Spin-torque-induced precession in a parallelly connected pair of magnetic multilayered nanopillars”, The 21th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (ICMFS2012), Shanghai, China (Sep. 2012).
 35. S. Hu, S. Bakaul and T. Kimura: “Improvement of generation efficiency of pure spin current using multi-terminal spin injection”, The 21th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (ICMFS2012), Shanghai, China (Sep. 2012).
 36. K. Kiseki, S. Yakata and T. Kimura: “Magnetic properties of double vortices stabilized in isosceles triangular ferromagnetic dots”, The 21th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (ICMFS2012), Shanghai, China (Sep. 2012).
 37. M. Kawano, S. Yamada, S. Oki, K. Tanikawa, M. Miyao and K. Hamaya: “Low-temperature growth of Co-based Heusler-alloy films on group-IV semiconductors by molecular beam epitaxy”, International Conference on Electronic Materials 2012, Yokohama, Japan (Sep. 2012).
 38. M. Kawano, S. Yamada, S. Oki, K. Tanikawa, M. Miyao and K. Hamaya: “Molecular beam epitaxy growth of Co₂MnSi films on group-IV semiconductors”, International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM) 2012, Kyoto, Japan (Sep. 2012).
 39. Y. Fujita, S. Yamada, S. Oki, Y. Maeda, M. Miyao and K. Hamaya: “Room-temperature spin polarization of epitaxial Fe₃Si films with D0₃-ordered structures estimated by tunneling magnetoresistance measurements”, International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM) 2012, Kyoto, Japan (Sep. 2012).
 40. S. Nonoguchi, T. Nomura and T. Kimura: “Pure spin current injection into a Gd wire”, The 19th International Conference on Magnetism (ICM2012), Busan, Korea (Jul. 2012).

41. S. Hu, T. Nomura, S. Nonoguchi and T. Kimura: "Improvement of generation efficiency of pure spin current using multi-terminal spin injection", The 19th International Conference on Magnetism (ICM2012), Busan, Korea (Jul. 2012).
42. K. Kiseki, S. Yakata and T. Kimura: "Inhomogeneous standing spin wave excited by the patterned periodic electrode", The 19th International Conference on Magnetism (ICM2012), Busan, Korea (Jul. 2012).
43. Y. Kasatani, S. Yamada, M. Miyao, K. Hamaya, H. Ito and Y. Nozaki: "Composition dependence of the Gilbert damping constant for Co-based Heusler alloy", The 19th International Conference on Magnetism (ICM2012), Busan, Korea (Jul. 2012).
44. J. Sakai, K. Ienaga, Y. Inagaki, H. Tsujii, R. Nomura, S. Nonoguchi, T. Kimura and T. Kawae: "Differential conductance measurements in Ni nanoscale contact fabricated by electromigration", The 19th International Conference on Magnetism (ICM2012), Busan, Korea (Jul. 2012).
45. K. Yamanoi, S. Yakata, T. Kimura and T. Manago: "Ferromagnetic resonance of a single micron dot using vector network analyzer", The 19th International Conference on Magnetism (ICM2012), Busan, Korea (Jul. 2012).
46. T. Nomura, S. Nonoguchi and T. Kimura: "Magnetization reversal process of a Py nanodot under pure spin current injection", The 19th International Conference on Magnetism (ICM2012), Busan, Korea (Jul. 2012).
47. S. Honda, H. Itoh, S. Yakata and T. Kimura: "Micromagnetic simulation for controlling the magnetic vortex chirality by current-induced Oersted field", The 19th International Conference on Magnetism (ICM2012), Busan, Korea (Jul. 2012).
48. H. Itoh and S. Honda: "Electronic structure and spin polarization of $\text{Co}_{(2-x)}\text{Fe}_{(1+x)}\text{Si}$ Heusler alloy", The 19th International Conference on Magnetism (ICM2012), Busan, Korea (Jul. 2012).
49. T. Nomura, S. Nonoguchi and T. Kimura: "Detection of pure spin current using a nonlocal loop circuit", IEEE International Magnetic (Intermag) Conference 2012, Vancouver, Canada (May 2012).
50. K. Nakada, S. Yakata and T. Kimura: "Noise-induced transition of mutual phase synchronization in coupled spin torque nano oscillators", IEEE International Magnetic (Intermag) Conference 2012, Vancouver, Canada (May 2012).
51. S. Nonoguchi, T. Nomura and T. Kimura: "Generation of pure spin current using nano-pillar-based lateral spin valve", IEEE International Magnetic (Intermag) Conference 2012, Vancouver, Canada (May 2012).
52. K. Kiseki, S. Hu, S. Yakata and T. Kimura: "Possibility for ferromagnetic resonance control using exchange-coupled NiFe/FeMn film", IEEE International Magnetic (Intermag) Conference 2012, Vancouver, Canada (May 2012).
53. K. Kiseki, M. Miyata, S. Yakata and T. Kimura: "Generation of standing spin wave excitations using ladder- and comb-type electrodes", IEEE International Magnetic (Intermag) Conference 2012, Vancouver, Canada (May 2012).
54. S. Oki, N. Hashimoto, S. Yamada, T. Kimura, M. Miyao and K. Hamaya: "Giant spin accumulation at room temperature in $\text{Co}_2\text{FeSi}/\text{Cu}$ lateral spin valves", IEEE International Magnetic (Intermag) Conference 2012, Vancouver, Canada (May 2012).
55. N. Ishida, Y. Soeno, K. Sekiguchi and Y. Nozaki: "Experimental study on microwave-assisted writing of 500 Gbps-class perpendicular medium", IEEE International Magnetic (Intermag) Conference 2012, Vancouver, Canada (May 2012).
56. M. Kodama, H. Hata, Y. Kasatani, K. Sekiguchi, A. Yamaguchi, T. Ohkochi, M. Kotsugi, T. Kinoshita and Y. Nozaki: "Spin torque analysis from trajectory of magnetic vortex-core observed using time-resolved photoemission electron microscope technique", IEEE International Magnetic (Intermag) Conference 2012, Vancouver, Canada (May 2012).
57. S. Yamada, T. Kimura, M. Miyao, K. Hamaya, S. Oki and N. Hashimoto: "Giant spin accumulation at room temperature in $\text{Co}_2\text{FeSi}/\text{Cu}$ lateral spin valves", IEEE International Magnetic (Intermag) Conference 2012, Vancouver, Canada (May 2012).
58. H. Itoh and S. Honda: "Interfacial Electronic Structures and Spin Injection in Co-Based

- Heusler Alloy/Cu Contacts”, International Symposium on Advanced Nano-devices and Nano-technology, Kaanapali, USA (Dec. 2011).
59. H. Itoh and S. Honda: “Interfacial electronic structures of Co-based Heusler alloy/Cu contacts”, The 15th International Conference on Thin Films, Kyoto, Japan (Nov. 2011).
 60. T. Nomura, S. Nonoguchi, Y. Ando and T. Kimura: “Detection of a loop current created by a pure spin current”, The 56th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2011), Arizona, USA (Nov. 2011).
 61. K. Nakada, S. Yakata and T. Kimura: “Noise-induced synchronization in spin torque nano oscillators”, The 56th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2011), Arizona, USA (Nov. 2011).
 62. S. Nonoguchi, T. Nomura, Y. Ando and T. Kimura: “Generation of giant spin current using multi-terminal nonlocal spin injections”, The 56th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2011), Arizona, USA (Nov. 2011).
 63. M. Miyata, S. Yakata, H. Wada and T. Kimura: “Magnetic properties of double vortices stabilized in isosceles triangular ferromagnetic dots”, The 56th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2011), Arizona, USA (Nov. 2011).
 64. N. Hashimoto, S. Oki, S. Yamada, Y. Maeda, T. Kimura, M. Miyao and K. Hamaya: “Spin transport in lateral spin-valve devices with single-crystalline Heusler compounds”, The 56th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2011), Arizona, USA (Oct. 2011).
 65. K. Nakada, S. Yakata and T. Kimura: “Stochastic state transition of a spin torque nano oscillator”, International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM) 2011, Aichi, Japan (Sep. 2011).
 66. S. Oki, S. Yamada, T. Murakami, M. Miyao and K. Hamaya: “Influence of Al co-deposition on the crystal growth of Co-based Heusler compound thin films on Si(111)”, The 7th International Conference on Si Epitaxy and Heterostructures (ICSI-7), Leuven, Belgium, (Aug. 2011).
 67. S. Honda, H. Itoh, S. Yakata and T. Kimura: “Micromagnetic simulation for the control of the magnetic vortex chirality”, The 5th International Workshop on Spin Currents, Sendai, Japan (Aug. 2011).
 68. K. Masaki, N. Hashimoto, S. Oki, S. Yamada, T. Kimura, M. Miyao and K. Hamaya: “Electrical detection of spin Hall effect in Co₂FeSi/Cu/Pt lateral device structures”, The 5th International Workshop on Spin Currents, Sendai, Japan (Aug. 2011).
 69. K. Ienaga, T. Kawae, H. Tsujii and T. Kimura: “Magnetic impurity scattering in atomic sized contact”, The 6th International School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology (SPINTECH6), Matsue, Japan (Aug. 2011).
 70. S. Nonoguchi, Y. Ando, S. Yakata and T. Kimura: “Pure spin current injection into polycrystalline Gd”, The 6th International School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology (SPINTECH6), Matsue, Japan (Aug. 2011).
 71. S. Nonoguchi, Y. Ando, S. Yakata and T. Kimura: “Efficient manipulations of pure spin currents using V-shape ferromagnetic wires”, The 6th International School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology (SPINTECH6), Matsue, Japan (Aug. 2011).
 72. M. Miyata, S. Yakata, H. Wada and T. Kimura: “Control of vortex chirality using DC current injection”, The 6th International School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology (SPINTECH6), Matsue, Japan (Aug. 2011).
 73. M. Miyata, K. Kiseki, S. Yakata, H. Wada and T. Kimura: “Electrical detection of vortex core polarity in a polygonal nanomagnet”, The 6th International School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology (SPINTECH6), Matsue, Japan (Aug. 2011).
 74. S. Yamada, S. Oki, M. Miyao and K. Hamaya: “Molecular beam epitaxy of Co-based Heusler-alloy thin films on group-IV semiconductors”, The 6th International School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology (SPINTECH6), Matsue, Japan (Aug. 2011).
 75. N. Hashimoto, K. Masaki, S. Oki, S. Yamada, T. Kimura, M. Miyao and K. Hamaya:

- “Electrical detection of a pure spin current in lateral devices with single-crystalline Co₂FeSi electrodes”, The 6th International School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology (SPINTECH6), Matsue, Japan (Aug. 2011).
76. K. Hosono, A. Yamaguchi and Y. Nozaki: “Microscopic theory of diffusive spin current”, The 6th International School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology (SPINTECH6), Matsue, Japan (Aug. 2011).
 77. Y. Kasatani, N. Sato, S. Yamada, M. Miyao, K. Hamaya and Y. Nozaki: “Crystalline axis dependence of the Gilbert damping factor for Heusler alloy films”, The 6th International School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology (SPINTECH6), Matsue, Japan (Aug. 2011).
 78. T. Kobayashi, H. Ueda, A. Yamaguchi and Y. Nozaki: “Measurement of complex susceptibility using vector network analyzer FMR spectroscopy”, The 6th International School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology (SPINTECH6), Matsue, Japan (Aug. 2011).
 79. T. Kawakami, A. Yamaguchi and Y. Nozaki: “Domain wall pinning effect using a spatial modulation of interlayer exchange coupling”, The 6th International School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology (SPINTECH6), Matsue, Japan (Aug. 2011).
 80. S. Kanda, H. Ueda, T. Kobayashi, A. Yamaguchi and Y. Nozaki: “Ferromagnetic resonance measurement of Co/Ni perpendicular magnetized multilayers”, The 6th International School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology (SPINTECH6), Matsue, Japan (Aug. 2011).
 81. Yamaguchi, Y. Nozaki and H. Miyajima: “Study on magnetization dynamics induced by current and field in a magnetic wire using rectifying effect”, The 6th International School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology (SPINTECH6), Matsue, Japan (Aug. 2011).
 82. H. Hata, M. Kodama, M. Goto, A. Yamaguchi and Y. Nozaki: “Inductive detection of resonant motion of vortices in single Fe₁₉Ni₈₁ ellipsoidal disk fabricated on a coplanar waveguide”, The 6th International School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology (SPINTECH6), Matsue, Japan (Aug. 2011).
 83. S. Honda, H. Itoh, S. Yakata and T. Kimura: “Micromagnetics simulation for the control of the magnetic vortex chirality”, The 5th International Workshop on Spin Currents, Sendai, Japan (Jul. 2011).
 84. K. Masaki, N. Hashimoto, S. Oki, S. Yamada, T. Kimura, M. Miyao and K. Hamaya: “Electrical detection of spin Hall effect in Co₂FeSi/Cu/Pt lateral device structures”, The 5th International Workshop on Spin Currents, Sendai, Japan (Jul. 2011).
 85. S. Honda and H. Itoh: “Micromagnetics simulation for magnetization switching of the Permalloy thin film”, E-MRS ICAM IUMRS 2011 Spring Meeting, Nice, France (May 2011).
 86. S. Nonoguchi, Y. Ando, S. Yakata and T. Kimura: “Transport properties of pure spin currents in a polycrystalline Gd wire”, IEEE International Magnetism (Intermag) Conference 2011, Taipei, Taiwan (Apr. 2011).
 87. M. Miyata, S. Nonoguchi, S. Yakata, H. Wada and T. Kimura: “Static and dynamic properties of a magnetic vortex in a regular polygonal nanomagnet”, IEEE International Magnetism (Intermag) Conference 2011, Taipei, Taiwan (Apr. 2011).
 88. M. Miyata, S. Yakata, M. Hara, H. Wada and T. Kimura: “Control of vortex chirality in polygonal nanomagnets”, IEEE TENCON 2010, Fukuoka, Japan (Nov. 2010).
 89. S. Nonoguchi, Y. Ando, Y. Togawa and T. Kimura: “Spin transport properties in polycrystalline Gd film and strip”, IEEE TENCON 2010, Fukuoka, Japan (Nov. 2010).
 90. A. Yamaguchi, Y. Kasatani, Y. Nozaki, T. Uchiyama and Y. Utsumi: “Spin wave damping in confined micron-scale ferromagnets”, The 55th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2010), Atlanta, USA (Nov. 2010).
 91. M. Goto, H. Hata, A. Yamaguchi, Y. Nakatani, Y. Yamaoka and Y. Nozaki: “Electrical detection of vortex states in a ferromagnetic disk using the rectifying effect”, The 55th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2010), Atlanta, USA

- (Nov. 2010).
92. H. Hata, M. Goto, A. Yamaguchi and Y. Nozaki: “Resonance modes of a pair of magnetic vortices in micron scale Fe₁₉Ni₈₁ ellipsoid”, The 55th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2010), Atlanta, USA (Nov. 2010).
 93. K. Hosono, A. Yamaguchi, Y. Nozaki and G. Tatara: “Microscopic theory of diffusive spin current caused by spin Hall effect”, The 55th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2010), Atlanta, USA (Nov. 2010).
 94. S. Yamada, K. Hamaya, T. Murakami, B. Varaprasad, Y. K. Takahashi, A. Rajanikanth, K. Hono and M. Miyao: “High-quality quaternary Heusler-compound Co₂Mn_{1-x}Fe_xSi films grown by low- temperature molecular beam epitaxy”, The 55th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2010), Atlanta, USA (Nov. 2010).
 95. S. Honda, J. Inoue and H. Itoh: “Tunnel magnetoresistance of Fe/GaAs/Fe junctions including spin-orbit interaction”, The 55th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2010), Atlanta, USA (Nov. 2010).
 96. S. Honda, J. Inoue and H. Itoh: “Spin polarization of tunnel current in Fe_xCo_{1-x}/GaAs contacts with Schottky barrier”, The 6th International Conference on the Physics and Applications of Spin Related Phenomena in Semiconductors, Tokyo, Japan (Aug. 2010).
 97. M. Goto, H. Hata, A. Yamaguchi, H. Miyajima, Y. Nakatani, T. Yamaoka and Y. Nozaki: “Detection of vortex-core dynamics using current-induced self-bistable rectifying effect”, International Symposium on Advanced Magnetic Materials and Applications (ISAMMA) 2010, Sendai, Japan (Jul. 2010).
 98. Y. Kasatani, A. Yamaguchi, H. Miyajima and Y. Nozaki: “Ferromagnetic Resonance in a single-crystalline Fe wire and a polycrystalline Fe wire”, International Symposium on Advanced Magnetic Materials and Applications (ISAMMA) 2010, Sendai, Japan (Jul. 2010).
 99. S. Honda, H. Itoh and J. Inoue: “Effects of spin-orbit interaction on spin polarization in Fe/GaAs contacts”, International Symposium on Technology Evolution for Silicon Nano-Electronics, Tokyo, Japan (Jun. 2010).
 100. H. Itoh, S. Honda and J. Inoue: “Electronic structure and spin-injection of Co-based Heusler alloy/semiconductor junctions”, International Symposium on Technology Evolution for Silicon Nano-Electronics, Tokyo, Japan (Jun. 2010).
 101. K. Kasahara, Y. Ando, K. Yamane, Y. Enomoto, K. Sawano, K. Hamaya and M. Miyao: “Fe₃Si/Ge(111) Schottky contacts for spin injection into a Ge channel”, The 11th Joint MMM-Intermag Conference, Washington DC, USA (Jan. 2010).
 102. K. Kasahara, K. Yamamoto, S. Yamada, T. Murakami, K. Hamaya and M. Miyao: “Highly epitaxial growth and its ferromagnetic properties of Heusler-alloy Co_{3-x}Fe_xSi/Ge(111) layers with an atomically flat heterointerface”, The 11th Joint MMM-Intermag Conference, Washington DC, USA (Jan. 2010).

〈国内〉

1. 後藤穰, 棚澤友幾, 関口康爾, 能崎幸雄: 強磁性交差細線における磁気反渦の共鳴, 日本物理学会 第 70 回年次大会, 東京, 2015 年 3 月.
2. 柳澤翔吾, 能崎幸雄: 弾性表面波を用いた Ni 薄膜パターンの強磁性共鳴誘引, 日本物理学会 第 70 回年次大会, 東京, 2015 年 3 月.
3. 棚澤友幾, 後藤穰, 能崎幸雄: 強磁性薄膜パターンにおける磁気渦対の生成と観察, 日本物理学会 第 70 回年次大会, 東京, 2015 年 3 月.
4. 岡野元基, 能崎幸雄: ナノ秒パルス重畳マイクロ波を用いた NiFe パターンの磁化反転実験, 日本物理学会 第 70 回年次大会, 東京, 2015 年 3 月.
5. 高橋真央, 能崎幸雄: スピンポンピング効果を用いたスピン流アシスト磁化反転実験, 日本物理学会 第 70 回年次大会, 東京, 2015 年 3 月.
6. 小野雄馬, 坂本美智子, 大西紘平, 木村崇: Nb/Cu/Nb ジョセフソン接合における強

- 磁性体近接効果の影響, 日本物理学会 第 70 回年次大会, 東京, 2015 年 3 月.
7. 川北直史, 岡部京太, 野村竜也, 家形諭, 木村崇: 磁性酸化物薄膜によるスピン流輸送特性の変調, 日本物理学会 第 70 回年次大会, 東京, 2015 年 3 月.
 8. 坂本美智子, 小野雄馬, 大西紘平, 木村崇: 多端子スピン注入によるクーパー対形成ダイナミクス制御の試み, 日本物理学会 第 70 回年次大会, 東京, 2015 年 3 月.
 9. 岡部京太, 川北直史, 家形諭, 木村崇: スピン偏極電極を用いた電界誘起相転移現象, 日本物理学会 第 70 回年次大会, 東京, 2015 年 3 月.
 10. 植松銀河, 野村竜也, 日出柄誠, 木村崇: CoFe 系合金を用いた高効率熱スピン注入と熱励起スピン信号の巨大化, 日本物理学会 第 70 回年次大会, 東京, 2015 年 3 月.
 11. 横谷有紀, 山野井一人, 家形諭, 木村崇: 高強度マイクロ波磁界による非線形強磁性共鳴と定在スピン波の励起, 日本物理学会 第 70 回年次大会, 東京, 2015 年 3 月.
 12. 大西紘平, 小野雄馬, 坂本美智子, 木村崇: Nb/Cu/NiFe 三層構造における純スピン流伝導特性, 平成 26 年度スピン変換年次報告会, 京都, 2015 年 3 月.
 13. 高以來優, 胡少杰, 野村 竜也, 木村崇: CoFeAl 電極による 3 次元スピン歳差運動の実現と検出, 平成 26 年度スピン変換年次報告会, 京都, 2015 年 3 月.
 14. 山崎賢人, 沖宗一郎, 山田晋也, 金島岳, 浜屋宏平: エピタキシャル $\text{Co}_{3-x}\text{Fe}_x\text{Si}$ 電極を有する横型スピンバルブ素子構造におけるスピン依存熱電効果, 平成 26 年度スピン変換年次報告会, 京都, 2015 年 3 月.
 15. 河野慎, 山東浩平, 沖宗一郎, 山田晋也, 金島岳, 浜屋宏平: Cu チャネル横型スピンバルブ素子を用いた $\text{Fe}_3\text{Si}/\text{Ge}$ 界面のスピン変換, 平成 26 年度スピン変換年次報告会, 京都, 2015 年 3 月.
 16. 河野慎, 山東浩平, 沖宗一郎, 山田晋也, 金島岳, 浜屋宏平: Cu チャネル横型スピンバルブ素子を用いた $\text{Fe}_3\text{Si}/\text{Ge}$ 界面のスピン変換, 平成 26 年度スピン変換年次報告会, 京都, 2015 年 3 月.
 17. 黒川孝幸, 沖宗一郎, 山田晋也, 金島岳, 浜屋宏平: 2 端子 Co_2FeSi スピン注入による巨大スピン蓄積の検出, 平成 26 年度スピン変換年次報告会, 京都, 2015 年 3 月.
 18. 黒川孝幸, 沖宗一郎, 山田晋也, 金島岳, 浜屋宏平: 2 端子 Co_2FeSi スピン注入源を用いた純スピン流の生成, *The 19th Physics and Applications of Spin-related Phenomena in Semiconductors (PASPS-19)*, 東京, 2014 年 12 月.
 19. 山田和正, 川北直史, 木村崇: 導電性高分子 PEDOT:PSS を用いた横型スピン伝導素子の試作, 日本物理学会 2014 年秋季大会, 春日井, 2014 年 9 月.
 20. 高以來優, 胡少杰, 野村竜也, 木村崇: 多端子スピン注入素子における信号の検出と非検出, 日本物理学会 2014 年秋季大会, 春日井, 2014 年 9 月.
 21. 小野雄馬, 大西紘平, 木村崇: Nb/Cu/NiFe 三層構造におけるスピンダイナミクス, 第 69 回日本物理学会年次大会, 平塚, 2014 年 3 月.
 22. 川北直史, 大西紘平, 木村崇: スピン偏極ナノギャップ電極による GdOx の伝導特性制御, 第 69 回日本物理学会年次大会, 平塚, 2014 年 3 月.
 23. X. Cui, K. Kiseki, S. Yakata and T. Kimura: Resonant vortex core oscillation detected by anisotropic magnetoresistance effect, 第 68 回日本物理学会年次大会, 東広島, 2013 年 3 月.
 24. C. Mu, S. Hu, T. Kimura and J. Wu: Seebeck voltage in lateral FM/NM hybrid nanostructure, 第 68 回日本物理学会年次大会, 東広島, 2013 年 3 月.
 25. S. Hu and T. Kimura, "Giant pure spin current generation in non-local lateral spin valve structure by using multi-terminal terminal injector (CoFe), 第 68 回日本物理学会年次大会, 東広島, 2013 年 3 月.
 26. Q. Dang, K. Kiseki, S. Yakata, H. Wada and T. Kimura: Steady-state vortex oscillation induced by spin injection and its control, 第 68 回日本物理学会年次大会, 東広島, 2013 年 3 月.

27. Q. Dang, K. Kiseki, S. Yakata, H. Wada and T. Kimura: Characterization of spin torque oscillator using a magnetic vortex state, 第 17 回半導体スピン工学の基礎と応用, 福岡, 2012 年 12 月.
28. 川上達彦, 柿塚遥, 山口明啓, 能崎幸雄: 層間結合の空間変調による磁壁のピン止め効果, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 富山, 2011 年 9 月.
29. 細野一弘, 柴田絢也, 河野浩, 能崎幸雄: スピン拡散長の微視的解析, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 富山, 2011 年 9 月.
30. 野々口誠二, 安藤裕一郎, 家形諭, 木村崇, 純スピン流注入により誘導されるループ電流とその検出, 日本物理学会 2011 年春季大会, 新潟, 2011 年 3 月.
31. 宮田真彦, 家形諭, 和田裕文, 木村崇: 多角微小強磁性体の高周波磁化特性, 日本物理学会 2011 年春季大会, 新潟, 2011 年 3 月.
32. 沖宗一郎, 橋本直樹, 山田晋也, 村上達彦, 木村崇, 宮尾正信, 浜屋宏平: 4 元系ホイスラー合金を用いた純スピン流の検出, 日本物理学会 2011 年春季大会, 新潟, 2011 年 3 月.
33. 真崎紘平, 橋本直樹, 前田雄也, 木村崇, 宮尾正信, 浜屋宏平: ホイスラー合金を有する横型スピバルブ素子におけるスピンホール効果の観測, 日本物理学会 2011 年春季大会, 新潟, 2011 年 3 月.
34. 宮田真彦, 家形諭, 木村崇, 和田裕文, 多角微小強磁性体の高周波磁化特性, 日本物理学会 2011 年春季大会, 新潟, 2011 年 3 月.
35. 畑拓志, 後藤穰, 山口明啓, 宮島英紀, 能崎幸雄: 強磁性 Fe₁₉Ni₈₁ 楕円ドットにおける磁気渦対の共鳴特性, 日本物理学会 2010 年秋季大会, 大阪, 2010 年 9 月.

(4)知財出願

① 国内出願 (6 件)

1. ≪スピン発振装置, 中田 一紀, 家形諭, 木村崇, 九州大学, 特願 2011-238731≫
2. ≪発振素子, 家形諭, 木村崇, 本多 周太, 九州大学, 特願 2012-124054≫
3. ≪発振素子, 木村崇, 本多周太, 伊藤博介, 九州大学, 特願 2012-124054≫
4. ≪ワイヤレススピン流生成, 木村 崇, 胡 少杰, 九州大学, 特願 2014-190391≫

②海外出願 (1件+1 件(予定))

1. ≪MAGNETIZATION-REVERSING APPARATUS, MEMORY ELEMENT, AND MAGNETIC FIELD-GENERATING APPARATUS, 木村崇 浜屋宏平、九州大学、2010 年 7 月 9 日、2010JP061693、世界知的所有権機関(WIPO)≫

(多端子スピン注入、厚膜磁性体への三次元スピン注入、高速スピン変調による磁化反転の高速化など、数多くの項目を盛り込んだ特許であることを考慮願いたい。)

(5)受賞・報道等

① 受賞

- *木村崇: 日本学術振興会賞 (2014 年 2 月)
- *木村崇: 丸文財団 丸文研究奨励賞 (2013 年 3 月)
- *木村崇: 船井情報科学振興財団 船井学術財団学術賞 船井哲良特別賞 (2013 年 4 月)
- 木村崇: 平成 22 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰「若手科学者賞」2010.4
- 木村崇: 平成 23 年度日本物理学会 若手奨励賞 領域3 2010.11
- 浜屋宏平: 平成 23 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰「若手科学者賞」2010.4

- 浜屋宏平:平成 23 年度日本物理学会 若手奨励賞 領域4 2010.11
- 宮田 真彦、家形 諭、木村 崇 : INTERMAG2011 Best Poster Award, 2011.05
- 安藤裕一郎, 浜屋宏平, 宮尾正信:The 56th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, Best Poster Award, 2011.11

②マスコミ(新聞・TV等)報道(プレス発表をした場合にはその概要もお書き下さい。)

- ホイスラー合金電極による純スピン流生成に関して、JST よりプレスリリース。
純スピン流の生成効率を大幅向上することに成功
—画期的な省エネデバイスの実用化に前進—
日刊工業新聞、マイナビニュース、日経 Web など複数の報道
- 超伝導体によるスピン流の絶縁性に関して、九州大学よりプレスリリース
超伝導体はスピン流に対して絶縁体となることを解明
日刊工業新聞、マイナビニュース、日経 Web など複数の報道
- 効率的な熱スピン注入に関して、JST よりプレスリリース
熱を使った効率的な を使った効率的な純スピン流純スピン流生成に成功
～電荷レスでワイヤレスなスピンドバイスの実現に一步前進～
日経新聞、日刊工業新聞、マイナビニュース、日経 Web など複数の報道

(6)成果展開事例

① 実用化に向けての展開

- 本研究で得られた純スピン流型スピントルクオシレータの研究で、民間企業1社と共同研究実施中
- 国際出願特許、及び純スピン流制御技術全般に関して、海外の HDD メーカーより共同研究の打診があったが、大学との契約内容が折り合わず見送っているが、技術指導を踏まえて、対応を検討中。

② 社会還元的な展開活動

- 純スピン流の制御技術に関して得られた成果について、イノベーションジャパン 2010 に出展した。
- 純スピン流の制御技術に関して得られた成果について、JST 主催の九州大学新技術紹介で講演発表した。
- 熱によるスピン流の制御技術に関して得られた成果について、九州大学主催の新技術紹介で講演発表した。
- 純スピン流の制御技術に関して得られた成果について、イノベーションジャパン 2014 に出展した。

③ シーズ段階案件

- これまでになかった純スピン流によるスピントルクを考慮した極めて柔軟性の高いマイクロマグネティクスシミュレータを開発した。純スピン流に限らず、あらゆる構造での計算が可能であり、スピントロニクスや高周波スピンドバイスなど、様々な応用に対応した利用法が期待される。

§ 5 研究期間中の活動

5. 1 主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2010年 6月11日	第4回稲盛フロンティア研究講演会 『ナノエレクトロニクス・デバイスの新潮流』	九州大学・ 稲盛ホール	120人	新材料・構造・原理によって動作する新機能ナノエレクトロニクスデバイスの開発状況・将来展望についての研究会
2010年 9月8日	チーム内ミーティング (非公開)	慶応義塾大学	9人	研究進捗報告のためのミーティング
2010年 12月26日	チーム内ミーティング (非公開)	九州大学	12人	研究進捗報告のためのミーティング
2011年 12月17日	第9回稲盛フロンティア講演会	九州大学 稲盛ホール	50人	ナノスピンの関連
2011年 6月18~19日	チーム内ミーティング (非公開)	九州大学	20人	研究進捗報告のためのミーティング
2011年 11月26日	チーム内ミーティング (非公開)	慶応義塾大学	20人	研究進捗報告のためのミーティング
2012年 1月15日	チーム内ミーティング (非公開)	慶応義塾大学	15人	研究進捗報告のためのミーティング
2012年 8月9日	チーム内ミーティング (非公開)	九州大学	6人	研究進捗報告のためのミーティング
2012年 3月11日	第5回稲盛フロンティア研究セミナー	九州大学	20人	スピン流関連
2012年 11月10日	第8回稲盛フロンティア研究セミナー	九州大学	60人	ナノスピンダイナミクス関連
2013年 3月25日	第11回稲盛フロンティア研究セミナー	九州大学	50人	スピン起電力関連
2013年 3月4日	チーム内ミーティング (非公開)	九州大学	5人	研究進捗報告のためのミーティング
2013年 4月	チーム内ミーティング (非公開)	筑波大学	4人	研究進捗報告のためのミーティング
2013年 10月	チーム内ミーティング (非公開)	筑波大学	4人	研究進捗報告のためのミーティング

2014年 3月26日	チーム内ミーティング (非公開)	筑波大学	5人	研究進捗報告のためのミー ティング
2014年 5月14日	チーム内ミーティング (非公開)	大阪大学	4人	研究進捗報告のためのミー ティング
2015年 2月	International workshop Nano spin sciencs	佐賀県 唐津市	25人	電荷レス・スピン流の 新しい可能性の探索
2012年 11月	幼稚園児 体験実験	九州大学	40人	磁石を使った実験紹介
2013年 11月	幼稚園児 体験実験	九州大学	60人	磁石を使った実験紹介
2013年 11月	高校生 体験実験	九州大学	40人	ナノエレデバイスの作製法と 性能評価
2013年 11月	出前講義	東筑高校	40人	スピン流と省エネに関する 研究紹介

§6 最後に

本研究チームの特徴は、何よりチームワークと考えており、デバイス、薄膜、高周波、理論と言ったそれぞれの得意分野を連携して、相乗効果により、各人のポテンシャル以上の成果を引き出せる環境があったと考えている。当初は、3つの実験グループが九大で結集して、密な連携のもとで実験を進める予定であったが、異動などがあったため、少々予定が変更となった。とりわけ高速化に関しては、開発が遅れ気味になったが、能崎グループの多大な尽力により、一定の成果を得ることができたと考えている。宮尾グループ、浜屋グループらは、計画を大きく前倒しする高品質ホイスラー合金薄膜の作製技術を確立し、また、同グループは、半導体分野においても、高く評価されている。伊藤グループにおいても、予算に制約があるにも関わらず、本 CREST の主要部分となる課題に重要な指針を与えてくれた。代表者のグループに関しても、純スピン流制御技術に関して、重要な成果を得ることができ、提案の書き込み技術の将来性を示せたことに満足している。また、ワイヤレス動作や熱利用など、新しい観点の可能性も示せたことで、別の応用も視野に入ってきた。CREST 開始当初、マンパワー不足の感もあったため、実質エフォートを50%以上にして、CREST 研究に専念した。最初は、1名から始めた研究室が、現在では、20名近くの研究室主催者となることができ、また、関連分野は、九州大学において重点研究領域として取り扱われることになり、仮想的組織ではあるが研究センター(量子ナノスピン物性研究センター)を設立させて頂くことができたことは、まさに本 CREST のお陰である。