

# 国際科学技術共同研究推進事業 (戦略的国際共同研究プログラム)

(研究領域「ナノエレクトロニクス」)

研究課題名「先端スピントロニクス材料と伝導現象 (ASPIMATT)」

平成 23 年度実施報告書

安藤 康夫

国立大学法人東北大学 ・ 教授

## 1. 研究実施の概要

H23年度は、8月にグループ内のミーティングおよび学生主催のワークショップをドイツにて開催し、それに引き続きスピントロニクス分野の著名な研究者を講師に招いてのスクールを開催した。グループ内ミーティングでは、日独双方の研究進捗状況について情報、意見交換し、今後の共同研究計画について議論を行った。ワークショップでは、ドイツ側の学生が中心となって企画をし、若手研究者同士の活発な議論が行われた。また、スクールについては、若手研究者（学生）を中心に約80名が参加し、若手研究者からの積極的な質問に対して、講師の方々が懇切丁寧に回答するという、大変有意義な企画となった。これらの企画の開催によって、本プロジェクトの目的の一つである、若手研究者の育成および奨励が大いになされた。

研究に関しては順調に進められており、昨年度に増して、論文および学会発表を精力的に行なった。いくつかのグループについては、計画を前倒して研究を実施しており、プロジェクトの最終目標達成に対して、視界は良好である。また、前年度に引き続き、日独の共同研究も順調に進んでおり、特に、日本側で開発した低磁気緩和定数を有するホイスラー合金薄膜を用いたスピン波伝搬に関する成果は、日独の特長を生かした、本プロジェクトならではの大きな成果である。さらに、今年度は、カイザーラウテルン大から2名の学生を東北大学に受け入れ、共同研究を進めた。研究内容は、東北大学でホイスラー合金/絶縁体の積層膜を作製し、ドイツ側でその界面におけるスピン分極率を評価するというものであるが、順調に成果が出つつあり、今後、共同で論文発表する計画である。

## 2. 研究実施内容

ASPIMATTは共通の目的達成に向けて、二つのプロジェクト領域（Project Area）および四つの課題（Task）に分類されている。領域と課題は各々のプロジェクトに対して日独が相補的に組織化されている。以降、ドイツ側のプロジェクトに関しては研究項目のみ記載する。

### 課題 1 スピンフィルター効果と垂直方向伝導のための新材料

#### 1.1-A 新規高スピン分極材料の探索（永沼, 手束）

高いスピン分極電流の制御を新規強磁性酸化物および新規ホイスラー合金を用いて行うことが目的である。平成23年度は、平成22年度に引き続き、新規高磁性酸化物として室温でハーフメタルである $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 、およびマルチフェロイック材料である $\text{Bi}(\text{Fe},\text{Co})\text{O}_3$ の高品質膜の作製条件について最適化した[1]。結果として、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ を電極としたトンネル接合素子において、これまでに報告されているなかで最も高い磁気抵抗比である64%を得ることに成功した。これは、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ と $\text{MgO}$ の界面に $\text{Mg}$ を挿入するなどの工夫をすることにより、界面構造が改善したことによるものと考えられる。一方、高スピン分極材料のホイスラー合金については、結晶方位の異なる $\text{Co}_2\text{FeAl}_{0.5}\text{Si}_{0.5}$ について、スピン分極率を測定した。その結果、従来報告されている(001) $\text{MgO}$ 基板上と(110) $\text{MgO}$ 基板上に作製した場合で、スピン分極率にほとんど変化がないことが分かった。

#### 1.2-A 次世代スピントロニクス材料の電子構造、磁気および分光特性の理論計算（ドイツ）

#### 1.3-A 高エネルギー光電子放出法による界面および各層の電子構造解析（ドイツ）

#### 1.4-B ハーフメタルホイスラー合金を用いたヘテロ構造におけるスピン依存伝導現象に関する理論（白井）

前年度に引き続き、ハーフメタルホイスラー合金と非磁性金属からなる膜面垂直電流型巨大磁気抵抗 (CPP-GMR) 素子における磁気抵抗比向上のための指針を提案するために、密度汎関数理論に基づいた第一原理計算手法を用いてスピン依存伝導現象を理論的に研究した。平成 23 年度は、非磁性金属との接合界面におけるホイスラー合金  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  の終端面による電気伝導の違いに焦点を絞って研究した。その結果、Co 終端面に比べて MnSi 終端面の方が低抵抗となる傾向があることを見出した。この結果は MnSi 終端面の方が大きな磁気抵抗比を得るために有利であることを示している[3]。

ハーフメタルホイスラー合金電極を用いた磁気トンネル接合の室温における磁気抵抗比向上のための指針を提供するために、接合界面付近における局在磁気モーメントの熱ゆらぎがスピン依存伝導現象に及ぼす影響を理論的に解析した。ホイスラー合金  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  と MgO 障壁の接合界面付近における局在磁気モーメントの傾斜に伴うエネルギー変化と伝導電子のスピン反転確率を計算した。その結果、界面付近の Co 磁気モーメントが熱的にゆらぎやすく、温度上昇に伴う磁気抵抗比の著しい低下をもたらすことを明らかにした[4]。

## 1.5-B 新規ホイスラー スピンデバイスにおけるスピン注入効率およびダイナミクス測定 (ドイツ)

### 課題 2 高垂直磁気異方性を有するホイスラー合金

#### 2.1-A 高垂直磁気異方性を有するハーフメタルホイスラー合金薄膜の作製と評価 (水上, 宮崎)

垂直磁化  $\text{Mn}_{2.5}\text{Ga}/\text{MgO}/\text{CoFe}$  トンネル接合におけるスピン依存トンネル伝導に対する界面の効果を調べるため、 $\text{Mn}_{2.5}\text{Ga}/\text{MgO}$  界面に Mg を挿入した接合において Mg 層の厚み依存性を系統的に調べた。Mg の厚みが 0.4 nm で TMR 比は極大を示した後、Mg の厚みが 1 nm を超えると負の TMR 比が発現することが分かった[8]。さらに、垂直磁化 Mn-Ga のスピンの分極率と組成の関係を調べるため、 $\text{Mn}_{1-x}\text{Ga}_x/\text{MgO}/\text{CoFe}$  接合について系統的な実験を行ったところ、Mn が 62% のところでわずかに TMR が上昇したものの、TMR 比の明瞭な組成依存性は見られなかった[9]。これらの結果から、Mn-Ga を用いた接合の伝導には、Mn-Ga/MgO 界面における原子構造および電子構造が強い影響を及ぼしているといえる。これらの実験と並行して、Mn-Ga 合金の電子構造に関する知見を得るため、エピタキシャル  $\text{Mn}_{1-x}\text{Ga}_x$  薄膜における磁気モーメントおよび一軸結晶磁気異方性(垂直磁気異方性)の Mn 組成依存性を調べた。Mn 組成を  $L1_0$  組成から  $D0_{22}$  組成まで変化させた良質の試料を作製することに成功し、飽和磁化(磁気モーメント)が Mn 組成の増大に対しリニアに減少することが分かった[19]。この際、磁気異方性はそれほど大きく減少しないことから、Mn-Ga 合金が飽和磁化を自在に大きく変調可能な材料であることが分かった。この結果に関しては、理論グループ 3.3-A と共同で電子構造に基づく考察を進めている。

#### 2.2-A $L1_0$ 規則合金/ハーフメタルホイスラー合金積層薄膜の作製と評価 (桜庭, 高梨)

H23 年度も前年度に引き続き垂直磁化ホイスラー合金電極を用いた磁気伝導素子作製の予備実験としてホイスラー合金電極のみを用いた CPP-GMR 素子を作製し、磁気伝導特性を評価した。従来の  $\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{Ag}/\text{Co}_2\text{MnSi}$  構造素子において  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  の Mn サイトを Fe 置換した  $\text{Co}_2\text{Fe}_x\text{Mn}_{1-x}\text{Si}$ (CFMS)電極とすることによって、 $RA=20\text{m}\Omega\mu\text{m}^2$  の低抵抗素子において室温で 57%、低温で 167%の磁気抵抗比を観測することに成功した。Fe:Mn の組成比や、電極膜厚依存性を評価した結果、Fe:Mn=4:6 で磁気抵抗比が最も高く、CFMS/Ag 界面のスピン依存散乱が磁気抵抗効果に対して支配的に寄与していることが分かった。そのため CFMS 電極の上下電極の膜厚をそれぞれ 4nm, 2nm と極薄膜化した試料でも室温で 43%の磁気抵抗比を観測した。さらに CMS や CFMS 磁気抵抗素子を用いてスピントルク発振現象の観測を行った。発振はバイ

アスティーを介して直流電流を印加し、発生した GHz 帯の高周波シグナルをスペクトラムアナライザーで観測した。CMS を用いた CPP-GMR 素子においては従来の 3d 強磁性体を用いた CPP-GMR 素子よりも 2 桁大きな 1nW クラスの発振出力を観測することに成功した[5]。さらに CFMS 電極を用いた素子では、50nW 程度の大きな発振出力を観測することした。さらに発振線幅は最小で 3MHz 程度まで狭小となり、Q 値にして 1000 を超える値を観測した。この値は従来の CPP-GMR 素子やトンネル磁気抵抗素子での報告を凌駕する値である。

## 2.3-A スピントルク応用のための高垂直磁気異方性を有する新規ホイスラー合金 (ドイツ)

### 課題 3 ギルバートダンピング(磁気緩和定数)

#### 3.1-A ハーフメタルホイスラー合金における磁気緩和 (大兼, 水上)

最終目標は、磁気緩和メカニズムの解明、および、低磁気緩和・低飽和磁化・高スピン分極率を兼備するホイスラー合金薄膜を開発することである。H23 年度は、 $\text{Co}_2\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Si}$ 、 $\text{Co}_2\text{MnAl}_{1-x}\text{Si}_x$  組成のエピタキシャルホイスラー合金薄膜の磁気緩和定数の温度依存性を系統的に明らかにすること、および、極薄低磁気緩和ホイスラー合金薄膜の開発を当初計画から前倒して実施した。磁気緩和定数の温度依存性を調べたところ、価電子数が少ない組成については、磁気緩和が温度の減少とともに減少する振る舞い (resistivity like) が見られた。一方、価電子数の大きい組成については、反対に磁気緩和が温度の減少とともに増加する振る舞い (conductivity like) が見られた。これらの振る舞いは、3.3-A グループのスピノ軌道相互作用を考慮した磁気緩和の理論計算結果と一致しており、フェルミ面の状態密度が温度依存性に大きな影響を及ぼしていることが分かった。また、 $\text{Co}_2\text{Fe}_x\text{Mn}_{1-x}\text{Si}$  組成について、磁気緩和の膜厚依存性を測定したところ、Fe 組成が増大すると、膜厚の減少に伴う、磁気緩和の増大が抑制されることが分かった。

さらに、前年度、非常に小さな磁気緩和を有することが分かった  $\text{Co}_2\text{Fe}_{0.4}\text{Mn}_{0.6}\text{Si}$  薄膜をドイツ側のグループに提供し、スピン波の長距離伝搬を観測することに成功した[10]。従来の NiFe などの強磁性体材料では、スピン波伝搬距離が数  $\mu\text{m}$  であったのに対し、 $\text{Co}_2\text{Fe}_{0.4}\text{Mn}_{0.6}\text{Si}$  については 10  $\mu\text{m}$  以上のスピン波伝搬が観測された。この結果は、本プロジェクトの非常に重要な共同研究成果である。

#### 3.3-A ハーフメタルホイスラー合金薄膜のギルバート磁気緩和に関する理論 (佐久間, 土浦)

スピントロニクス材料のギルバート緩和の定量評価を行う目的から、局所スピン密度汎関数法のもとでスピノ軌道相互作用と合金の不規則性を考慮し、異方性磁気抵抗効果 (AMR) と異常ホール伝導度およびギルバート緩和定数を求める計算プログラムを作成した。今年度はスピントロニクス分野で広く用いられている  $\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x$  や  $\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x$  およびホイスラー合金などの遷移金属合金を取り上げ、第一原理計算により伝導度テンソルとギルバート緩和定数の定量評価を試みた。得られた伝導度テンソルの結果は低温における実験結果と定量的によく一致することが確認された[11,12]。ギルバート緩和定数については、規則性の低下とともに増大する傾向と組成依存性は定性的によく再現され、定量的には実測値の半分から同程度の値が得られた (ホイスラー合金については 1/10 程度)。

また、磁性体の不均一磁化運動における磁気緩和を調べる目的から、s-d 模型を用いて磁性および非磁性不純物がある系における緩和定数の理論計算を行った。その結果、非磁性不純物がある場合、有限の波数ベクトル ( $q$ ) での不均一な磁化運動によるギルバート緩和係数は  $q^2$  に比例して増大すること、磁性不純物がある場合はさらに不純物濃度に比例した定数項が加わることが示された[20]。

次に、このような不均一系の磁気緩和機構をより一般的な立場から明らかにする目的から、スピンが時間的に

変化する磁気トンネル接合系のスピン流を微視的立場から記述し、ギルバート緩和に關係するスピン流の導出に成功した[21]。

#### 課題 4 面内スピン伝導とスピン波デバイス

##### 4.1-B ホイスラー合金薄膜上の新規 GMR/MTJ ナノ接合デバイス (安藤, 永沼, 大兼)

スピン波伝搬特性および素子間のスピンの歳差運動のモードロック現象を明らかにすることを最終目的として、H23 年度はスピン波伝搬素子の GMR 素子の作製および高周波電気特性評価を行うと共に、スピン波伝搬の直接観察実験をドイツにて行った。GMR 素子の作製および電気特性評価の双方において高い再現性と高い測定技術を構築することに成功した。また、GMR 素子を用いた電気特性評価の結果、スピン波伝搬現象を観測することに成功した。さらに、外部磁場を印加しない状態でもスピン波を伝搬させることに成功しており、この成果は将来のナノサイズ発振素子の創製に有意義であると言える。現時点では、スピン波伝搬の光学的な直接観察こそ未だ成功していないが、改善点も明確であるため H24 年度は観察できる見込みが大いにある。

##### 4.3-B 半導体における面内スピン伝導 (松倉, 好田)

(Ga,Mn)As/p-GaAs においてスピンプンピングによりスピン流を p-GaAs に生成し、それを逆スピンホール効果を用いて電氣的に検出した。(Ga,Mn)As 中の磁壁移動に付随する起電力を検出した。

半導体細線構造におけるスピン緩和の異方性を再現するために、モンテカルロシミュレーション法によるスピン緩和時間の細線幅依存性や結晶方向依存性を評価した。その結果、細線幅がスピン緩和長と同程度になるとスピン緩和時間が増大することが明らかとなり、実験結果を再現した[16]。また Rashba および Dresselhaus スピン軌道相互作用に起因する有効磁場が等しい場合、両者の磁場が打ち消される[-110]方向において、スピン緩和時間が発散的な挙動を示す Persistent Spin Helix 状態が観測された。半導体 GaAs 上に面直磁化を有する  $L1_0$ -FePt のエピタキシャル成長を行い、MgO 膜厚に依存し FePt の残留磁化比が大きく変化することを明らかにした[15]。

##### 4.5-A 新しいスピン伝導デバイス応用のためのホイスラー合金開発 (ドイツ)

##### 4.6-B ホイスラー合金系における面内スピン依存伝導特性の研究 (高梨, 桜庭)

本課題ではホイスラー合金ハーフメタルを強磁性電極とした面内型スピンバルブ素子を作製し、高効率なスピン注入の実現を目指す。H23 年度は MgO 基板上にエピタキシャル成長をさせた Ag/Co<sub>2</sub>Fe<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Si(CFMS)膜を微細加工し、サイズの異なる CFMS ピラーを細線化させた Ag バッファーで連結することにより CFMS から Ag 中へのスピン注入を行った。局所配置と非局所配置で明瞭なスピニングナルを観測し、最終年度へつながる実験結果を得ることができた。またホイスラー合金薄膜の面内方向の熱伝導とスピン伝導の関連現象についての実験を行った。MgO 基板上に Co<sub>2</sub>MnSi(CMS)薄膜を成膜後、細線化した Pt を膜面内方向へ流す熱流と直交する方向に成膜し、Co<sub>2</sub>MnSi 中で生じるスピンゼーベック効果によるスピン流を Pt の逆スピンホール効果によって電圧として検出した。その結果、CMS におけるスピンゼーベック効果についての知見を得るとともに、基板と CMS の熱伝導度の差によって膜面の面直方向への熱勾配が生じ、これにより異常ネルンスト電圧がスピンゼーベック効果に重畳することを明らかにした。[18]

### 3. 研究実施体制

#### (1)「安藤」グループ

研究者名(当該研究実施年度の所属、役職)

	氏名	所属	役職	参加時期
	安藤 康夫	東北大学工学研究科	教授	H22.2～
	大兼 幹彦	東北大学工学研究科	准教授	H22.2～
	永沼 博	東北大学工学研究科	助教	H22.2～

研究項目

- 1.1-A 新規高スピン分極材料の探索
- 3.1-A ハーフメタルホイスラー合金における磁気緩和
- 4.1-B ホイスラー合金薄膜上の新規 GMR/MTJ ナノ接合デバイス

#### (2)「高梨」グループ

研究者名(当該研究実施年度の所属、役職)

	氏名	所属	役職	参加時期
	高梨 弘毅	東北大学金属材料研究所	教授	H22.2～
	桜庭 裕弥	東北大学金属材料研究所	助教	H22.2～
	ポス スボロジャティ	東北大学金属材料研究所	GCOE フェロー	H22.2～
	ヤン フジュン	東北大学金属材料研究所	日本学術振興会 特別研究員	H22.2～

研究項目

- 2.2-A  $L_1_0$ 規則合金/ハーフメタルホイスラー合金積層薄膜の作製と評価
- 4.6-B ホイスラー合金系における面内スピン依存伝導特性の研究

#### (3)「水上」グループ

研究者名(当該研究実施年度の所属、役職)

	氏名	所属	役職	参加時期
	水上 成美	東北大学原子分子材料科学高等研究機構	准教授	H22.2～
	宮崎 照宣	東北大学原子分子材料科学高等研究機構	教授	H22.2～
	窪田 崇秀	東北大学原子分子材料科学高等研究機構	助手	H22.2～
	Xianmin Zhang	東北大学原子分子材料科学高等研究機構	助手	H22.2～
	Ma Qinli	東北大学原子分子材料科学高等研究機構	助手	H23.7～

研究項目

- 2.1-A 高垂直磁気異方性を有するハーフメタルホイスラー合金薄膜の作製と評価
- 3.1-A ハーフメタルホイスラー合金における磁気緩和

(4)「手束」グループ

研究者名(当該研究実施年度の所属、役職)

	氏名	所属	役職	参加時期
	手束 展規	東北大学工学研究科	准教授	H22.2～

研究項目

1.1-A 新規高スピン分極材料の探索

(5)「佐久間」グループ

研究者名(当該研究実施年度の所属、役職)

	氏名	所属	役職	参加時期
	佐久間 昭正	東北大学工学研究科	教授	H22.2～
	土浦 宏紀	東北大学工学研究科	准教授	H22.2～

研究項目

3.3-A ハーフメタルホイスラー合金膜のギルバート緩和に関する理論研究

(6)「松倉」グループ

研究者名(当該研究実施年度の所属、役職)

	氏名	所属	役職	参加時期
	松倉 文礼	東北大学電気通信研究所	准教授	H22.2～
	好田 誠	東北大学工学研究科	特任准教授	H22.2～

研究項目

4.3-B 半導体における面内スピン伝導

(7)「白井」グループ

研究者名(当該研究実施年度の所属、役職)

	氏名	所属	役職	参加時期
	白井 正文	東北大学電気通信研究所	教授	H22.2～
	三浦 良雄	東北大学電気通信研究所	助教	H22.2～
	阿部 和多加	東北大学電気通信研究所	助教	H22.2～

研究項目

1.4-B ハーフメタルホイスラー合金を用いたヘテロ構造におけるスピン依存伝導現象に関する理論

## 4. 成果発表等

ASPIMATT は、現在までのところ、非常に順調に研究が進んでいる。今後も、これまでに引き続いて、日独両国間で密な連携（例えば、電話会議、ビデオ会議、電子メール、ホームページ等を利用）をとりながら共同研究を進めていく。来年度は、カイザースラウテルン大から1名、若手研究者を受け入れ、日本側の研究者と共同で、スピン偏極電流誘起のスピン波伝搬素子を作製する計画である。また、東北大学から博士課程の学生をドイツに派遣し、共同実験を実施することも計画している。これまでに、磁場誘起によるスピン波伝搬素子における、長距離スピン波伝搬の観測には成功しているが、この共同研究が進むことで、スピン偏極電流誘起によるスピン波伝搬が可能になると考えられる。このような交流を通じて、優れた研究成果を挙げるとともに、若手研究者の育成にも力をいれたい。また、これまでに開催して非常に有意義な企画であった、合同ミーティング、および、学生の育成を目的としたワークショップの開催も引き続き予定している。さらに、来年度は、ドイツ側で行われるプロジェクト評価会議（日時未定）に併せて、日本側の主要な研究代表者がドイツを訪問し、3年間の研究成果を集約するとともに、プロジェクトの今後の発展につなげるための議論を行う計画である。

ASPIMATT は二回の助成期間(3年+2年)で計画されているが、最初の助成期間(プロジェクト領域 A)の中心的研究課題は、新材料設計および創成、新規分析技術の開発であった。ここで、新材料とは高スピン分極、スピントルク磁化反転における低反転電流、面内スピン伝導のための低スピン散乱レート、マグノン伝導のための低磁気緩和定数、を実現する材料である。それに対して、後期の助成期間(プロジェクト領域 B)では、新材料によりもたらされる新規の伝導現象を実現することが主目的であり、新材料を用いたトンネル磁気抵抗(TMR)素子および巨大磁気抵抗(GMR)素子に加えて、ローカル/ノンローカル面内スピン伝導、スピンホール効果およびマグノンによる角運動量伝導のような新しいタイプのスピントロニクスデバイスの創成を目指すものである。プロジェクト領域 A, B を通じて期待される成果は、下記のリスト ~ を想定していたが、, , の3項目については既に2年間の研究期間内に目標達成済みである。しかしながら、本プロジェクトでは、達成した研究項目についても、さらなる上位目標の達成を目指して研究を進めており、今後得られる成果の社会的インパクトは非常に大きなものになると考えられる。また、現在までに、未達成の研究項目についても、順調に研究は進んでおり、研究期間内に目標達成可能な見通しが得られている。

強磁性を示すホイスラー半導体の設計と合成(バルク材料、薄膜)

ホイスラー磁性金属/ホイスラー非磁性金属/ホイスラー磁性金属の構造を有する高伝導度かつバンドマッチングのよい CPP-GMR デバイス創成のための、材料設計と合成

強磁性ホイスラー合金から半導体へのスピン注入の実証

$RA < 10 \Omega\mu\text{m}^2$  のホイスラー合金電極を用いたスピントルクデバイスの作製

面内スピントルクデバイスの作製

室温で 500% のトンネル磁気抵抗効果を示すホイスラートンネルデバイスの作製

室温で 50% の磁気抵抗効果を示すホイスラー CPP-GMR デバイスの作製

### (4 - 1) 原著論文発表

発表総数(国内 0 件、国際 25 件): “accepted: 0 件”, “to be published: 1 件”, “in press: 4 件”

論文詳細情報(著者名、発表論文タイトル、掲載誌(誌名、巻、号、発表年)などを発行日順に記載してください。)

- [1] H. A. Begum, H. Naganuma, M. Oogane, Y. Ando, "Fabrication of multiferroic Co-substituted BiFeO<sub>3</sub> epitaxial films on SrTiO<sub>3</sub> (100) substrates by r.f. magnetron sputtering", *Materials*, **4**, 1087-1095 (2011).
- [2] Tatsuya Saito, Nobuki Tezuka, and Satoshi Sugimoto, "Electrical Transport Properties and Spin Injection in Co<sub>2</sub>FeAl<sub>0.5</sub>Si<sub>0.5</sub>/GaAs Junctions", *IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS*, VOL. 47, NO. 10, 2447-2450 (2011).
- [3] Y. Miura, K. Futatsukawa, S. Nakajima, K. Abe, and M. Shirai, "First-principles study of ballistic transport properties in Co<sub>2</sub>MnSi/*X*/Co<sub>2</sub>MnSi(001) (*X* = Ag, Au, Al, V, Cr) trilayers", *Phys. Rev. B*, **84**, 134432 (2011)
- [4] Y. Miura, K. Abe, and M. Shirai, "Effects of interfacial noncollinear magnetic structures on spin-dependent conductance in Co<sub>2</sub>MnSi/MgO/Co<sub>2</sub>MnSi magnetic tunnel junctions: A first-principles study", *Phys. Rev. B*, **83**, 214411 (2011)
- [5] R. Okura, Y. Sakuraba, T. Seki, K. Izumi, M. Mizuguchi, and K. Takanashi, "High-power rf oscillation induced in half-metallic Co<sub>2</sub>MnSi layer by spin-transfer torque" *Appl. Phys. Lett.* **99**, 052510 (2011).
- [6] S. Bosu, Y. Sakuraba, K. Uchida, K. Saito, T. Ota, E. Saitoh, K. Takanashi, "Spin Seebeck effect in thin films of the Heusler compound Co<sub>2</sub>MnSi" *Physical Review B*, **83**, 224401 (2011).
- [7] S. Bosu, Y. Sakuraba, K. Saito, H. Wang, K. Takanashi, "Spacer layer thickness dependence of exchange coupling in Co-enriched Co-Mn-Si/Cr/Co-Mn-Si epitaxial trilayers" *J. Appl. Phys.* **110**, 113901 (2011).
- [8] T. Kubota, S. Mizukami, D. Watanabe, F. Wu, X. Zhang, H. Naganuma, M. Oogane, Y. Ando, and T. Miyazaki, Effect of metallic Mg insertion on the magnetoresistance effect in MgO-based tunnel junctions using D<sub>022</sub>-Mn<sub>3-δ</sub>Ga perpendicularly magnetized spin polarizer, *J. Appl. Phys.* **110**, 013915 (2011).
- [9] T. Kubota, M. Araidai, S. Mizukami, X. Zhang, Q. Ma, H. Naganuma, M. Oogane, Y. Ando, M. Tsukada, and T. Miyazaki, Composition dependence of magnetoresistance effect and its annealing endurance in tunnel junctions using Mn-Ga high perpendicular magnetic anisotropy electrode, *Appl. Phys. Lett.* **99**, 192509 (2011).
- \*[10] T. Sebastian, Y. Ohdaira, T. Kubota, P. Pirro, T. Brächer, K. Vogt, A. A. Serga, H. Naganuma, M. Oogane, Y. Ando, and B. Hillebrands, "Low-damping spin-wave propagation in a micro-structured Co<sub>2</sub>Mn<sub>0.6</sub>Fe<sub>0.4</sub>Si Heusler waveguide", *Appl. Phys. Lett.* **100**, 112402 (2012).
- 日本-ドイツ共同研究の成果を報告した論文である。昨年度日本側で見出した、低磁気緩和を有する Co<sub>2</sub>Fe<sub>0.4</sub>Mn<sub>0.6</sub>Si ホイスラー合金薄膜をドイツ側に提供し、スピン波伝搬を測定した。その結果、低磁気緩和を反映して、従来に比べ非常に長いスピン波伝搬距離を観測することに成功した。
- [11] Y. Kota and A. Sakuma, "Spin-dependent electrical resistivity in ferromagnets by magnetic fluctuation", *J. Magn. Soc. Jpn.*, **35**, 374-378 (2011).
- [12] Y. Kota and A. Sakuma, "First-principles study of electrical resistivity in Co<sub>2</sub>MnSi compounds", *IEEE Trans. Magn.* **47**, 4405 -4408 (2011).
- [13] L. Bai, M. Kohda, and J. Nitta, "Observation of spin wave modes depending on a tunable

- periodic magnetic field”, Appl. Phys. Lett. 98, 172508 (2011).
- [14] H. Sanada, T. Sogawa, H. Gotoh, K. Onomitsu, M. Kohda, J. Nitta, and P. V. Santos, “Acoustically induced spin-orbit interactions revealed by two-dimensional imaging of spin transport in GaAs”, Phys. Rev. Lett. 106, 216602 (2011).
- [15] R. Ohsugi, M. Kohda, T. Seki, A. Ohtsu, M. Mizuguchi, K. Takanashi, and J. Nitta, “MgO layer thickness dependence of structure and magnetic properties of  $L1_0$ -FePt/MgO/GaAs structures”, Jpn. J. Appl. Phys. 51, 02BM05 (2012).
- [16] Y. Kunihashi, M. Kohda, and J. Nitta, “Semiclassical approach for spin dephasing in a quasi-one-dimensional channel”, Physical Review B 85, 035321 (2012).
- [17] Y. Kunihashi, M. Kohda, H. Sanada, H. Gotoh, T. Sogawa, and J. Nitta, “Proposal of spin complementary field effect transistor”, Appl. Phys. Lett. 100, 113502 (2012).
- [18] S. Bosu, Y. Sakuraba, K. Uchida, K. Saito, W. Kobayashi, E. Saitoh and K. Takanashi, “Thermal artifact on the spin Seebeck effect in metallic thin films deposited on MgO substrates” J. Appl. Phys., 111, 07B106 (2012).
- [19] S. Mizukami, T. Kubota, F. Wu, X. Zhang, H. Naganuma, M. Oogane, A. Sakuma, Y. Ando, and T. Miyazaki, Composition dependence of magnetic properties in perpendicularly magnetized epitaxial thin films of Mn-Ga alloys, Phys. Rev. B, 85 014416 (2012).
- [20] N. Umetsu, D. Miura and A. Sakuma, “Microscopic theory for Gilbert damping in materials with inhomogeneous spin dynamics”, J. Appl. Phys. 111, (2012), 07D117-1 – 07D117-3.
- [21] D. Miura and A. Sakuma, “Microscopic description of Charge and Spin Currents in Magnetic Tunnel Junctions”, in press.
- [22] Tatsuya Saito, Nobuki Tezuka and Satoshi Sugimoto, “Temperature and Bias Voltage Dependencies of Spin Injection Signals for  $\text{Co}_2\text{FeAl}_{0.5}\text{Si}_{0.5}/\text{n-GaAs}$  Schottky Tunnel Junction”, Materials Transactions, in press.
- [23] N. Tezuka, “New Materials Research for High Spin Polarized Current”, J. Magn. Magn. Matt., in press.
- [24] N. Tezuka, F. Mitsunashi, S. Sugimoto, “Tunnel magnetoresistance effect in magnetic tunnel junctions with epitaxial  $\text{Co}_2\text{FeAl}_{0.5}\text{Si}_{0.5}$  Heusler electrodes on MgO (110) single substrates”, J. Appl. Phys. in press.
- [25] Yuki Kawada, Hiroshi Naganuma, Mikihiro Oogane, and Yasuo Ando, “Influence of strong stray field from a fixed layer on spin torque oscillation properties” IEEE Transaction Magnetics to be published (2012).

#### (4 - 2) 特許出願

平成 23 年度特許出願内訳(国内 0 件、海外 0 件)

該当なし

本事業での研究期間累積件数(国内 0 件、海外 0 件)

該当なし

#### (4 - 3) 国際学会および主要な国内学会発表

招待講演 (国内 3件、国際 13件)

- \*[1] M. Shirai, Y. Miura, and K. Abe (Tohoku Univ.), “Non-collinear magnetic structures at Heusler alloy/MgO interfaces: A possible origin for the temperature dependence of tunneling magnetoresistance”, JSPS York-Tohoku Research Symposium on Magnetic Materials and Spintronics, York, UK, 2011年6月28日
- [2] S. Mizukami, T. Kubota, H. Naganuma, M. Oogane, Y. Ando, T. Miyazaki, Tetragonal Heusler-like Alloys for Spin Memory Application, 2011 Collaborative Conference on 3D & Materials Research, Jeju/South Korea, June 30, 2011.
- [3] S. Mizukami, H. Naganuma, M. Oogane, Y. Ando, and T. Miyazaki, Optical detection of fast magnetization precession for perpendicularly magnetized films, 35<sup>th</sup> Special Meeting of Spintronics, IEEE Magnetics Society and Magnetic Society of Japan, Nagoya, July 20, 2011.
- \*[4] Y. Miura, K. Abe, and M. Shirai (Tohoku Univ.), “Role of spin-flip scattering at interfaces of MgO-based magnetic tunnel junctions with Heusler alloys”, 5th International Workshop on Spin Currents, Sendai, Japan, 2011年7月27日
- [5] S. Mizukami, S. Sakuma, Y. Ando, and T. Miyazaki, Fast Precessional Spin Dynamics and Damping in Perpendicularly Magnetized Films, 5th International Workshop on Spin Currents, Sendai, July 27, 2011.
- [6] S. Mizukami, Tetragonal Manganese Alloys for Magnetoresistive Memory Application, the Seminar in Institute of Physics, Seminar in Institute of Physics, University of Göttingen, Göttingen, August 19, 2011.
- [7] 金属・半金属中間層を用いた接合における CPP-GMR 効果, 窪田崇秀, 佐藤丈, 大平祐介, 大兼幹彦, 水上成美, 永沼博, 宮崎照宣, 安藤康夫、第 36 回スピエレクトロニクス専門研究会、中央大学駿河台記念館、8.22、2011.
- [8] N. Tezuka, T. Saito, M. Yoshida, L. Jiang, G. Zhou, S. Sugimoto, “HIGHLY SPIN POLARIZED CURRENT WITH HALF METALLIC FERROMAGNETS”, Moscow International Symposium on Magnetism2011, (2011年8月25日) Moscow State University
- \*[9] S. Mizukami, T. Kubota, H. Naganuma, M. Oogane, Y. Ando, and T. Miyazaki, Perpendicularly Magnetized Tetragonal Heusler-like Alloy Films for Spin Torque Applications, 56<sup>th</sup> Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, Scottsdale/Arizona, USA, October 31, 2011.
- [10] S. Mizukami, Optical detection of fast spin precessional dynamics in metallic magnets (*in Japanese*), The 16<sup>th</sup> Physics and Applications of Spin-related Phenomena in Semiconductors (PASPS), Tokyo, November 29, 2011.
- [11] S. Mizukami, Development of spintronics materials and magnetoresistive devices, AIMR-UCSB Workshop, Santa Barbara, January 10-11, 2012.
- [12] S. Mizukami, Tetragonal Mn-Ga alloys for MRAM application, The 2nd CSIS Int. Symposium on Spintronics-based VLSIs and the 8th RIEC Int. Workshop on Spintronics, Sendai, February 2, 2012.
- [13] S. Mizukami, T. Kubota, Q. Ma, X. Zhang, H. Naganuma, M. Oogane, A. Sakuma, Y. Ando, and

T. Miyazaki, Spintronics materials with a low damping constant (*in Japanese*), Symposium of spintronics, Annual meeting of Japanese Society of Applied Physics, Tokyo, March 15, 2012.

[14] S. Mizukami and T. Miyazaki, Magnetization precession and damping for magnetic films with a large perpendicular magnetic anisotropy (*in Japanese*), Topical Symposium of the Magnetic Society of Japan, Tokyo, March 22, 2012.

\*[15] M. Oogane, S. Mizukami, T. Kubota, H. Naganuma, Y. Ando, Half-metallic Heusler alloys with low magnetic damping (*in Japanese*), Topical Symposium of the Magnetic Society of Japan, Tokyo, March 22, 2012.

\*[16] S. Mizukami and T. Miyazaki, Tetragonal Heusler-like alloy films with perpendicular magnetic anisotropy for spin torque applications, Spring Meeting in German Physical Society (DPG spring meeting), Berlin, March 29, 2012.

口頭講演 (国内 30 件、国際 10 件)

[1] S. Bosu, Y. Sakuraba, K. Uchida, K. Saito, E. Saitoh, and K. Takanashi, "Spin Seebeck effect in full-Heusler alloy  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  thin films" IEEE International Magnetism Conference (INTERMAG), Taipei, 2011 年 4 月 25 日

\*[2] Y. Kota and A. Sakuma, "First-principles study of spin-dependent transport in disordered  $\text{Co}_2\text{MnSi}$ ", IEEE International Magnetic Conference, HC-05, Taipei, Taiwan, Apr. 2011.

\*[3] N. Umetsu, D. Miura and A. Sakuma, "Electronic study on the Gilbert damping in the magnetic multilayer system", IEEE International Magnetic Conference, AC-05, Taipei, Taiwan, Apr. 2011.

\*[4] M. Shirai, "Theoretical studies on spin-dependent transport phenomena in heterostructures based on half-metallic Heusler alloys", Annual Meeting of Advanced Spintronic Materials and Transport Phenomena JST-DFG Research Unit, Kaiserslautern, Germany, 2011 年 8 月 22 日

[5] 常木 澄人, 大兼 幹彦, 永沼 博, 安藤 康夫, "Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 電極を用いた TMR 多層膜の界面構造の改善" 第 72 回応用物理学会学術講演会, 30a-ZS-9 口頭発表 (2011 年 8 月 30 日) 山形大学

[6] 水上成美, F. Wu, J. Walowski, 窪田崇秀, X. Zhang, 永沼博, 大兼幹彦, 佐久間昭正, 安藤康夫, 宮崎照宣, "垂直磁化 Mn-Ga 薄膜の超高速磁化才差ダイナミクス", 第 72 回応用物理学会学術講演会, 2011 年 8 月 31 日

[7] 河田 祐紀, 永沼 博, 大兼 幹彦, 安藤 康夫, "連続自由層を有する CPP-GMR 素子におけるスピントルク自励発振" 第 72 回応用物理学会学術講演会, 31a-ZS-23 口頭発表 (2011 年 8 月 31 日) 山形大学

[8] 野中 駿, 国橋要司, 好田 誠, 新田淳作 "InGaAs 細線構造におけるスピン軌道相互作用と面内磁場との相互作用" 第 72 回応用物理学会学術講演会 2011 年 8 月 31 日

[9] 柏 利慧, 好田 誠, 新田淳作 "パーマロイ細線中のスピン波伝搬に関する電氣的制御" 第 72 回応用物理学会学術講演会 2011 年 8 月 31 日

[10] 大杉廉人, 好田 誠, 眞田治樹, 後藤秀樹, 寒川哲臣, 関 剛斎, 水口将輝, 高梨弘毅, 新田淳作 "電子線蒸着法を用いた  $L1_0\text{-FePt}/\text{MgO}$  面直スピン注入源から GaAs への電氣的スピン注入" 第 72 回応用物理学会学術講演会 2011 年 9 月 1 日

[11] 国橋要司, 好田 誠, 新田淳作 "準 1 次元チャネル中のスピン緩和に対する半古典的アプローチ" 第 72

回応用物理学学会学術講演会 2011年9月1日

[12] 窪田崇秀, 洗平昌晃, 三浦良雄, 水上成美, 永沼博, 大兼幹彦, 安藤康夫, 白井正文, 塚田捷, 宮崎照宣, “垂直磁化 Mn-Ga/MgO/CoFe 接合におけるトンネル磁気抵抗効果の Mn-Ga 組成依存性”, 第 72 回応用物理学学会学術講演会, 2011年9月2日

[13] 小野 敦央, 永沼 博, 河田 祐紀, 大兼 幹彦, 安藤 康夫, “垂直スピン注入層を有する強磁性トンネル接合の作製” 第 72 回応用物理学学会学術講演会, 2p-S-5 口頭発表 (2011年9月2日) 山形大学

[14] 兵頭一茂, 三俣千春, 佐久間昭正, “スピン電場により優記されるスピン流の磁化ダイナミクスへの影響”, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 24aPs-30, 富山大学, 2011年9月21日.

[15] 三浦大介, 梅津信之, 佐久間昭正, “磁気トンネル接合におけるスピンポンピングの微視的記述”, 日本物理学会2011年秋季大会, 22aED-3, 富山大学, 2011年9月22日.

[16] 小田洋平, 佐久間昭正, “遷移金属合金の伝導度テンソルの第一原理計算”, 日本物理学会2011 年秋季大会, 23pRA-1, 富山大学, 2011年9月23日.

[17] 大倉遼, 桜庭裕弥, 関剛斎, 水口将輝, 高梨弘毅, “Co<sub>2</sub>MnSi/Ag/Co<sub>2</sub>MnSi フルエピタキシャル CPP-GMR 素子におけるスピントルク自励発振”, 第 35 回日本磁気学会, 新潟, 2011年9月27日

[18] 窪田崇秀, 洗平昌晃, 三浦良雄, 水上成美, 永沼博, 大兼幹彦, 安藤康夫, 白井正文, 塚田捷, 宮崎照宣, “L10-MnGa 規則合金薄膜を用いたトンネル接合の作製と磁気抵抗効果”, 第 35 回日本磁気学会, 新潟, 2011年9月28日

[19] 水上成美, 呉峰, ヤコブパロウスキ, 窪田崇秀, 張憲民, 永沼博, 大兼幹彦, 佐久間昭正, 安藤康夫, 宮崎照宣, “垂直磁化 Mn-Ga 薄膜の示す高磁気異方性と低磁気摩擦”, 第 35 回日本磁気学会, 新潟, 2011年9月29日

[20] 小田洋平, 三俣千春, 佐久間昭正, “L10 型 FePt 規則 - 不規則合金の電子状態と磁気異方性”, 第 35 回日本磁気学会学術講演会, 29pF-8, 新潟大学, 2011年9月29日.

\*[21] T. Kubota, M. Araidai, S. Mizukami, X. Zhang, H. Naganuma, M. Oogane, Y. Ando, M. Tsukada, and T. Miyazaki, “Composition dependence of tunnel magnetoresistance effect using high-perpendicular magnetic anisotropy Mn-Ga ordered alloys”, 56th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, Scottsdale/Arizona, USA, November 1, 2011.

[22] Y. Kota and A. Sakuma, “Electronic structure and magnetic anisotropy in FePt out of L10 ordering”, 56th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, DD-02, Scottsdale, AZ, USA, November 2011 (Oral).

[23] F. Yang, Y. Sakuraba, K. Saito, Y. Kota, A. Sakuma and K. Takanashi, “Anisotropic magnetoresistance in Heusler compounds epitaxial films: A fingerprint of half-metallicity/non-half-metallicity” 56<sup>th</sup> Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, Alizona USA, 2011年11月1日

[24] S. Bosu, Y. Sakuraba, K. Uchida, K. Saito, E. Saitoh, and K. Takanashi, “Spin caloritronic effects in Heusler compound Co<sub>2</sub>MnSi thin films” 56<sup>th</sup> Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, Alizona USA, 2011年11月3日

[25] Y. Sakuraba, R. Okura, T. Seki, M. Mizuguchi, and K. Takanashi, “Spin-torque induced rf-oscillation in half-metallic Co<sub>2</sub>MnSi-based CPP-GMR devices” 56<sup>th</sup> Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, Alizona USA, 2011年11月3日

- \*[26] M. Shirai, "Spin-dependent transport phenomena in heterostructures based on half-metallic Heusler alloys: A theoretical study", Japan-Germany Progress Seminar on "Spin and Quantum Information", Sendai, Japan, 2011 年 11 月 24 日
- [27] 国橋要司, 好田 誠, 新田淳作 "準一次元系スピン緩和の空間分解 Monte Carlo シミュレーション" 第 16 回半導体スピン工学の基礎と応用 2011 年 11 月 28 日
- [28] 野中駿, 国橋要司, 好田 誠, 新田淳作 "スピン軌道相互作用による InGaAs 細線構造の次元性制御" 第 16 回半導体スピン工学の基礎と応用 2011 年 11 月 28 日
- [29] 大杉 廉人, 好田 誠, 眞田 治樹, 関 剛斎, 後藤 秀樹, 寒川 哲臣, 水口将輝, 高梨 弘毅, 新田 淳作, "L1<sub>0</sub>-FePt / MgO / GaAs LED 構造における電气的スピン注入率の定量評価" 第 16 回半導体スピン工学の基礎と応用 2011 年 11 月 28 日
- [30] 国橋要司, 好田 誠, 眞田治樹, 依 毅彦, 後藤秀樹, 寒川哲臣, 新田淳作 "空間分解 Monte Carlo 法に基づく準一次元系スピン緩和の理論解析", 第 59 回応用物理学学会関係連合講演会 2012 年 3 月 17 日
- [31] 野中 駿, 佐々木敦也, 国橋要司, 好田 誠, 新田淳作 "InGaAs 2次元電子ガスにおける面内磁場を用いた Rashba 及び Dresselhaus スピン軌道相互作用の電气的評価", 第 59 回応用物理学学会関係連合講演会 2012 年 3 月 16 日
- [32] 佐々木敦也, 野中 駿, 国橋要司, 好田 誠, 新田淳作 "InGaAs 細線におけるひずみ誘起 Dresselhaus スピン軌道相互作用の電气的測定", 第 59 回応用物理学学会関係連合講演会 2012 年 3 月 16 日
- [33] 国橋要司, 好田 誠, V. Lechner, C. Schonhuber, I. Caspers, P. Olbrich, S.D. Ganichev, 新田淳作 "狭い InGaAs 量子井戸における Persistent Spin Helix 状態の電气的生成", 第 59 回応用物理学学会関係連合講演会 2012 年 3 月 16 日
- [34] 眞田治樹, 後藤秀樹, 小野満恒二, 好田 誠, 新田淳作, Paulo V. Santos, 寒川哲臣 "表面弾性波のつくる導波路型ダイナミックドットを用いたスピン輸送", 第 59 回応用物理学学会関係連合講演会 2012 年 3 月 16 日
- [35] 常木 澄人, 大兼 幹彦, 永沼 博, 安藤 康夫 "Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>を用いた MTJ における TMR 比の印加電圧依存性", 第 59 回応用物理学学会関係連合講演会, 17a-DP1-10, 口頭発表, (2012 年 3 月 17 日) 早稲田大学
- [36] 窪田崇秀, 馬勤礼, 水上成美, 洗平昌晃, 張憲民, 永沼博, 大兼幹彦, 安藤康夫, 宮崎照宣, "垂直磁化 MnGa/Fe/MgO/CoFe 接合のトンネル磁気抵抗効果", 第 59 回応用物理学学会関係連合講演会, 2012 年 3 月 17 日
- [37] 三浦大介, 佐久間昭正, "強磁性金属におけるマグノン-ドラッグ熱電特性の微視的理論", 日本物理学会第67回年次大会, 24aPS-21, 関西学院大学, 2012年3月24日.
- [38] 小田洋平, 佐久間昭正, "遷移金属合金のスピンホール伝導度の第一原理計算", 日本物理学会第67回年次大会, 25aSA-5, 関西学院大学, 2012 年3 月25日.
- [39] 梅津信之, 三浦大介, 佐久間昭正, "不均一スピンダイナミクスにおけるスピン緩和機構", 日本物理学会第 67 回年次大会, 26pAF-5, 関西学院大学, 2012 年 3 月 26 日.
- [40] 桜庭裕弥, ヤンフジュン, 斎藤今朝美, 高梨弘毅, "ハーフメタルホイスラー合金薄膜における異方性磁気抵抗効果" 第 150 回金属学会春期講演会 2012 年 3 月 30 日

ポスター発表 (国内 4 件、国際 21 件)

- [1] T. Saito, N. Tezuka, S. Sugimoto, “Electrical transport properties of highly ordered  $\text{Co}_2\text{FeAl}_{0.5}\text{Si}_{0.5}/\text{GaAs}$  heterostructures with molecular beam epitaxy”, IEEE International Magnetism Conference, AO-12, Taipei International Convention Center (2011 年 4 月 11 日)
- [2] R. Ohsugi, M. Kohda, T. Seki, H. Sanada, J. Nitta, M. Mizuguchi, K. Takanashi, “Electrical spin injection from perpendicularly magnetized L10-FePt into GaAs”, 5th international workshop on spin currents, July 26 (2011).
- [3] S. Nonaka, Y. Kunihashi, M. Kohda, J. Nitta, “Interplay between spin orbit interaction and an in-plane magnetic field in InGaAs narrow wire structures”, 5th international workshop on spin currents, July 27 (2011).
- [4] T. Kubota, M. Araidai, Y. Miura, S. Mizukami, H. Naganuma, M. Oogane, Y. Ando, M. Shirai, M. Tsukada, and T. Miyazaki, Magnetoresistance Effect in L10-MnGa/MgO/CoFe Junctions, 5th International Workshop of Spin Currents, Sendai, July 27 (2011).
- [5] S. Bosu, Y. Sakuraba, K. Uchida, K. Saito, E. Saitoh, and K. Takanashi, “Mechanism of spin Seebeck effect in Heusler compound  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  thin films” 5th International Workshop on Spin Currents, Sendai, 2011 年 7 月 28 日
- [6] E. Nagata, Y. Miura, K. Abe, and M. Shirai, “Inverse magnetoresistance in  $\text{Fe}_4\text{N}/\text{MgO}/\text{CoFe}$  magnetic tunnel junctions: A first-principles study”, Annual Meeting of Advanced Spintronic Materials and Transport Phenomena JST-DFG Research Unit, Kaiserslautern, Germany, 2011 年 8 月 22 日
- [7] D. Mori, M. Tsujikawa, Y. Miura, K. Abe, and M. Shirai, “*Ab initio* study on magnetic anisotropy at  $\text{Co}_2\text{FeAl}/\text{MgO}$  and  $\text{Fe}/\text{MgO}$  interfaces”, Annual Meeting of Advanced Spintronic Materials and Transport Phenomena JST-DFG Research Unit, Kaiserslautern, Germany, 2011 年 8 月 22 日
- [8] S. Ozaki, Y. Miura, K. Abe, and M. Shirai, “*Ab initio* study on magnetic anisotropy in Fe/Ni multilayers”, Annual Meeting of Advanced Spintronic Materials and Transport Phenomena JST-DFG Research Unit, Kaiserslautern, Germany, 2011 年 8 月 22 日
- [9] Y. Matsuzawa, Y. Miura, K. Abe, and M. Shirai, “First-principles calculations of spin-dependent transport properties in magnetic tunnel junctions with ferroelectric barriers”, Annual Meeting of Advanced Spintronic Materials and Transport Phenomena JST-DFG Research Unit, Kaiserslautern, Germany, 2011 年 8 月 22 日
- [10] 三浦良雄, 阿部和多加, 白井正文(東北大), “ホイスラー合金 / MgO 界面におけるノンコリニア磁気構造と交換結合”, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 富山大学, 2011 年 9 月 21 日
- [11] A. S. Demiray, T. Miyawaki, Y. Watanabe, M. Kohda, K. Saito, K. Takanashi, and J. Nitta, “Magnetic states and minor loop analysis in Co/Cu/Co trilayer ring structures”, International Conference on Solid State Devices and Materials, September 29 (2011).
- [12] S. Nonaka, Y. Kunihashi, M. Kohda, and J. Nitta, “Anisotropic phase coherence length affected by coexistence of a spin orbit interaction and an in-plane magnetic field in InGaAs narrow wire structures”, International Conference on Solid State Devices and Materials, September 29 (2011).
- [13] R. Ohsugi, M. Kohda, T. Seki, M. Mizuguchi, K. Takanashi, and J. Nitta, “Different magnetic

properties of  $L1_0$ -FePt grown on sputtered and EB deposited MgO/GaAs structures”, International Conference on Solid State Devices and Materials, September 29 (2011).

[14] F. Yang, Y. Sakuraba, and K. Takanashi, “Anisotropic magnetoresistance in half-metallic  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  epitaxial films” 2011 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2011) Nagoya, 2011 年 9 月 30 日.

[15] N. Tezuka, L. Jiang, S. Sugimoto, “Tunnel magnetoresistance effect in magnetic tunnel junctions with (110)-oriented epitaxial  $\text{Co}_2\text{FeAl}_{0.5}\text{Si}_{0.5}$  Heusler electrodes”, The 56th Annual MMM Conference, FP-08, JW Marriott Desert Ridge Resort Phoenix (2011 年 11 月 2 日)

[16] L. Jiang, N. Tezuka, S. Sugimoto and Y. Ando “Annealing temperature dependence of structural and magnetic properties of  $\text{CoFe}_2/\text{CoFe}_2\text{O}_4$  bilayers for spin-filter devices”, The 56th Annual MMM Conference, FP-12, (2011 年 11 月 2 日) JW Marriott Desert Ridge Resort Phoenix

\*[17]N. Umetsu, D. Miura and A. Sakuma, “Microscopic theory on the Gilbert damping in the inhomogeneous spin dynamics”, 56th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, DS-14, Scottsdale, AZ, USA, November 2011.

[18] A. S. Demiray, T. Miyawaki, Y. Watanabe, M. Kohda, K. Saito, K. Takanashi, and J. Nitta, “Chirality determination in Co/Cu/Co trilayer ring by asymmetric probe detection”, International Conference on Advanced Materials and Devices, December 9 (2011).

[19] D. Mori, M. Tsujikawa, Y. Miura, K. Abe, and M. Shirai, “Perpendicular magnetic anisotropy of  $\text{Co}_2\text{FeAl}/\text{MgO}$  interfaces”, 2nd CSIS International Symposium on Spintronics-based VLSIs and 8th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, 2012 年 2 月 2 日

[20] T. Kubota, M. Araidai, Q. L. Ma, S. Mizukami, X. M. Zhang, H. Naganuma, M. Oogane, Y. Ando, M. Tsukada, and T. Miyazaki, Tunnel Magnetoresistance Effect of Perpendicularly Magnetized Mn-Ga/MgO/CoFe Junction, The 2012 WPI-AIMR Annual Workshop, Sendai, February 21-22, 2012.

[21] S. Mizukami, M. Araidai, T. Kubota, M. Tsukada, and T. Miyazaki, Perpendicular Magnetic Anisotropy of Tetragonal Manganese Alloy, The 2012 WPI-AIMR Annual Workshop, Sendai, February 21-22, 2012.

[22] Q. L. Ma, T. Kubota, S. Mizukami, X. M. Zhang, H. Naganuma, M. Oogane, Y. Ando, and T. Miyazaki, Enhanced Magnetoresistance in  $L1_0$ -MnGa/MgO/CoFeB Perpendicular Magnetic Tunnel Junction by Co insertion, The 2012 WPI-AIMR Annual Workshop, Sendai, February 21-22, 2012.

[23] 植田正輝, 桜庭裕弥, 高梨弘毅 “Fe ドープ  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  電極を用いた巨大磁気抵抗素子の磁気伝導特性” 第 59 回応用物理学関連連合講演会, 早稲田大学, 2012 年 3 月 15 日

[24] 森 大樹, 辻川雅人, 三浦良雄, 阿部和多加, 白井正文(東北大), “ $\text{Co}_2\text{FeAl}/\text{MgO}$  界面における磁気異方性の第一原理計算”, 2012 年春季第 59 回応用物理学関係連合講演会, 早稲田大学, 2012 年 3 月 17 日

[25] 松澤雄一郎, 三浦良雄, 阿部和多加, 白井正文(東北大), “マルチフェロイック酸化物 Co ドープ  $\text{BiFeO}_3$  の電子構造と磁気特性の第一原理計算”, 2012 年春季第 59 回応用物理学関係連合講演会, 早稲田大学, 2012 年 3 月 17 日

#### (4 - 4) 受賞等

##### 受賞

[1] 高梨弘毅 日本磁気学会 2011 年度出版賞

[2] 大兼幹彦 第22回トーキン科学技術振興財団研究奨励賞, ハーフメタルホイスラー合金の開発とスピントロニクスデバイスへの応用, 2012 年 3 月 8 日.

##### 新聞報道

該当なし

##### その他の成果発表

[1] 白井正文, 第6章 第一原理計算から見たホイスラー合金の電子状態, 「機能材料としてのホイスラー合金」, 鹿又 武 編著, ISBN 978-4-7536-5134-4 (内田老鶴圃, 東京, 2011) pp.131-149.

#### (4 - 5) その他特記事項

該当なし

### 5. 主催したワークショップ等

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2011 年 8 月 22-23 日	3rd Meeting of Strategic Japanese-German Joint Research Program	カイザースラウテルン	60 名	チーム内ミーティングおよび学生企画のワークショップを実施
8 月 24-27 日	ASPIMATT School on “Advanced Spintronic Materials and Transport Phenomena”	カイザースラウテルン	80 名	スピントロニクス分野の著名な講師を招いてのスクールを開催

## 6. 学生・研究者の派遣、受け入れ等

(受け入れ)

受入者: カイザースラウテルン大学 1名

受入先: 東北大学

受入期間: 2011年8月29日～10月26日(59日)

受入者: カイザースラウテルン大学 1名

受入先: 東北大学

受入期間: 2011年8月29日～2012年1月6日(131日)

以上