

研究プロジェクト名: スピン異常ホール効果の機構解明と巨大スピン異常ホール材料の探索

概要: 高効率な磁化反転手法の確立は磁気メモリ開発における重要かつ喫緊の課題であり、電流-スピン流間の変換機構の理解が不可欠となっている。本研究プロジェクトでは、異常ホール効果(AHE)を起源としたスピン流生成現象である「スピン異常ホール効果(SAHE)」に着目する。これは強磁性体内におけるスピントルク効果として認識されているが、起源を別にする現象と切り分けや、変換効率の定量的な議論は十分になされていない。そこで、SAHEを中心として強磁性体におけるスピン変換現象の統一的理解を目指し、得られた知見を元に巨大なSAHEを示す材料の探索を行う。2021年度は、昨年度に取り組んだ単一強磁性層におけるスピントルク強磁性共鳴の手法を活用し、大きな異常ホール効果(AHE)を示す Co_2MnGa ホイスラー合金におけるSAHEや関連するスピン変換現象を引き続き系統的に調べる。

コアメンバー: 高梨・関G(東北大金研)、飯浜(東北大学際)、三谷・温G(NIMS)

期待される研究成果: Co_2MnGa ホイスラー合金は大きなAHEを示す強磁性金属として有名であると同時に、ワイル半金属という特異な電子構造を有する材料としても注目を集めている。これらの観点から、大きなAHEに起因したSAHEの増大や、スピン変換効率の結晶方位依存性などが期待できる強磁性材料である。昨年度取り組んだ単一強磁性層におけるスピントルク強磁性共鳴法を用いることで、 Co_2MnGa エピタキシャル薄膜における磁気抵抗効果やダンピングの結晶方位依存性といった基本特性の情報に加え、 Co_2MnGa 内におけるスピン変換に関する知見も同時に得ることができ、 Co_2MnGa 合金内で生じるスピン変換現象の起源を切り分けることができるものと期待される。

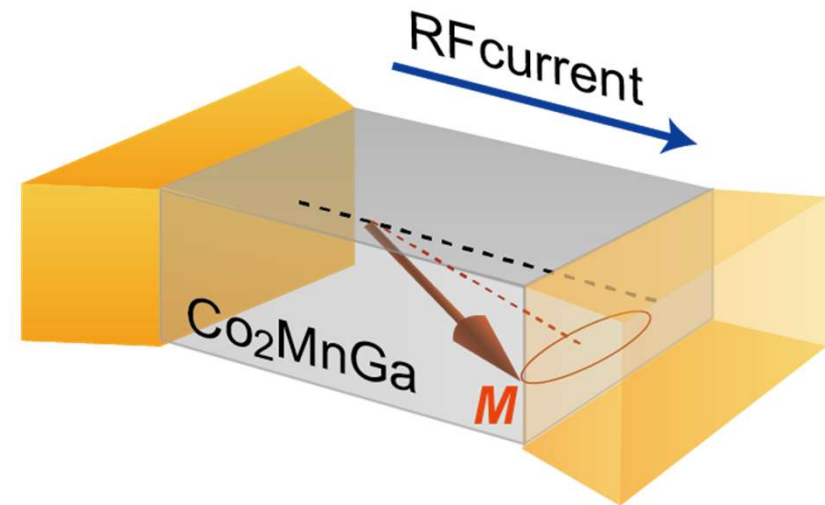
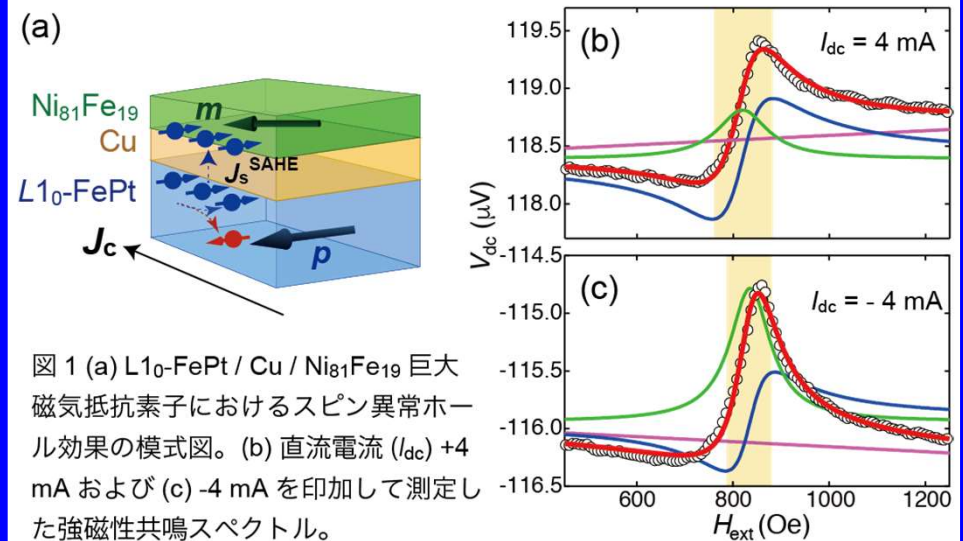


Fig. 1: Co_2MnGa におけるスピントルク強磁性共鳴の模式図。

研究プロジェクト名: スピン異常ホール効果の機構解明と巨大スピン異常ホール材料の探索

概要: 高効率な磁化反転手法の確立は、磁気メモリ開発における重要かつ喫緊の課題である。特に、どのように電流からスピン流に変換するかが磁化反転を高効率化するためのキーとなる。本研究プロジェクトでは、異常ホール効果(AHE)を起源としたスピン流生成現象である「スピン異常ホール効果(SAHE)」に着目する。これは、強磁性体内におけるスピンホール効果として認識されているが、起源を別にする現象と切り分けや、変換効率の定量的な議論は十分になされていない。そこで本研究課題では、大きなAHEを示すL10-FePt規則合金をSAHE材料の第一候補として選択し、スピン異常ホール角の定量評価を行う。さらに、L10-FePtのSAHEによって生成されたスピン流を別の強磁性体に作用させることで、SAHEによる磁化反転を行う。これらの実験により得られたSAHE増強のための指針をもとに、研究対象とする材料群を拡張させ、巨大なSAHEを示す材料の探索を行う。

研究成果(実施状況): 図1(a)に模式的に示したL1₀-FePt / Cu / Ni₈₁Fe₁₉の巨大磁気抵抗効果膜において、L1₀-FePt層のSAHEによって生成されたスピン流がNi₈₁Fe₁₉層の磁化ダイナミクスに与える影響を調べた。図1(b)および1(c)に示した強磁性共鳴スペクトルにおける共鳴線幅の電流変調より、スピン変換効率に相当するスピン異常ホール角を見積もったところ、0.25という大きな値が得られた。この高い変換効率は、L1₀-FePtが巨大なSAHEを発現する有力材料であることを示唆するものである。これら定量評価に加え、L1₀-FePtの巨大なSAHEを利用して、Ni₈₁Fe₁₉層の磁化をスイッチングさせることにも成功した。



主要発表論文等: [1] T. Seki, S. Iihama, T. Taniguchi, and K. Takanashi, Phys. Rev. B 100, 144427-1-8 (2019).

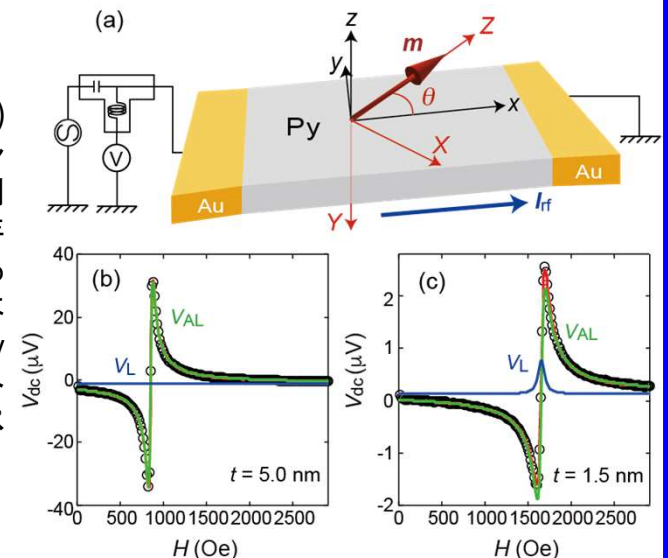
研究プロジェクト名: スピン異常ホール効果の機構解明と巨大スピン異常ホール材料の探索

概要: 高効率な磁化反転手法の確立は磁気メモリ開発における重要かつ喫緊の課題であり、電流-スピン流間の変換機構の理解が不可欠となっている。本研究プロジェクトでは、異常ホール効果(AHE)を起源としたスピン流生成現象である「スピン異常ホール効果(SAHE)」に着目する。これは強磁性体内におけるスピントルク効果として認識されているが、起源を別にする現象と切り分けや、変換効率の定量的な議論は十分になされていない。そこで、SAHEを中心として強磁性体におけるスピン変換現象の統一的理解を目指し、得られた知見を元に巨大なSAHEを示す材料の探索を行う。2020年度は、大きな異常ホール効果(AHE)を示すことで有名な Co_2MnGa ホイスラー合金のスピン変換現象を調べ、さらにスピントルク強磁性共鳴による単一強磁性層におけるスピン変換の評価手法を検討した。

研究成果(実施状況):

1. $\text{Co}_2\text{MnGa}/\text{Ti}/\text{CoFeB}$ 積層構造においてスピン軌道トルク(SOT)を調べ、-7.8%の比較的高い負のスピンホール効率が得られることを明らかにし、 $\text{Co}_2\text{MnGa}/\text{Ti}$ におけるスピン変換を利用したCoFeB層のSOTスイッチングを実証した。
2. 上下に同一の界面を有する対称構造の $\text{Al-O}/\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}/\text{Al-O}$ 、および異種の界面を有する非対称構造の $\text{Si-O}/\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}/\text{Al-O}$ の試料においてスピントルク強磁性共鳴の膜厚依存性を調べた(図1)。観測されたSOTの膜厚依存性から、単一の強磁性層におけるスピン変換を説明するためのモデルを検討した。

図1 (a) $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ (Py) 単層におけるスピントルク強磁性共鳴測定の様式図。(b) 非対称構造を有する5.0 nm厚のPy層および(c) 1.5 nm厚のPy層におけるスピントルク強磁性共鳴スペクトルの測定結果。



主要発表論文等: [1] Ke Tang, Zhenchao Wen, Yong-Chang Lau, Hiroaki Sukegawa, Takeshi Seki, and Seiji Mitani, Appl. Phys. Lett. 118, 062402-1-6 (2021)

研究プロジェクト名: スピン異常ホール効果の機構解明と巨大スピン異常ホール材料の探索

概要: 高効率な磁化反転手法の確立は磁気メモリ開発における重要かつ喫緊の課題であり、電流-スピン流間の変換機構の理解が不可欠となっている。本研究プロジェクトでは、異常ホール効果(AHE)を起源としたスピン流生成現象である「スピン異常ホール効果(SAHE)」に着目する。これは強磁性体内におけるスピンホール効果として認識されているが、起源を別にする現象と切り分けや、変換効率の定量的な議論は十分になされていない。そこで、SAHEを中心として強磁性体におけるスピン変換現象の統一的な理解を目指し、得られた知見を元に巨大なSAHEを示す材料の探索を行う。2021年度は、スピン1のChiral semimetalであるB20型CoSiのスピン変換現象を調べ、さらに2020年度に引き続き単一強磁性層におけるスピントルク強磁性共鳴の起源について実験的に検討した。

研究成果(実施状況):

1. スピン1のChiral semimetalであるB20型CoSiにおけるスピンホール効果を調べ、室温で3%程度のスピンホール効率が得られることを実験的に明らかにし、理論計算と比較をした。
2. 上下に同一の界面を有する対称構造のAl-O/Ni₈₁Fe₁₉/Al-O、および異種の界面を有する非対称構造のSi-O/Ni₈₁Fe₁₉/Al-Oの試料においてスピントルク強磁性共鳴(ST-FMR)の信号を比較し(図1)、自己誘導的にNi₈₁Fe₁₉層の磁化に作用するスピントルクを評価した。そして、観測されたST-FMR信号の膜厚依存性から、単一の強磁性層におけるスピン変換を説明するためのモデルを提案した。

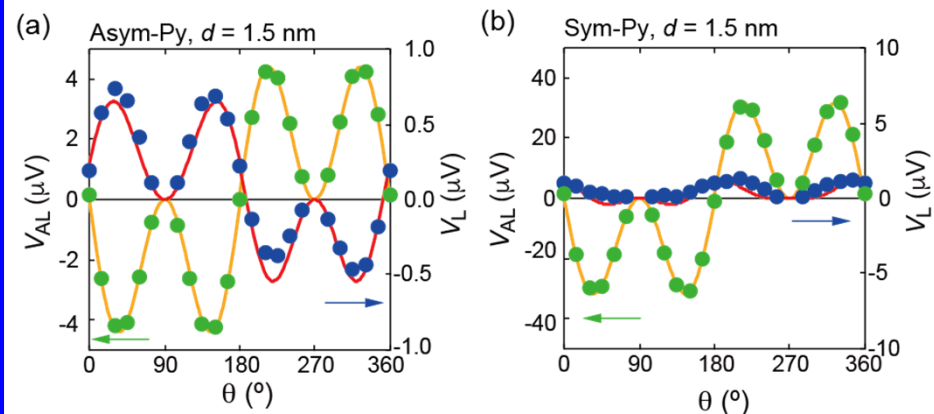


図1 (a)非対称構造および(b)対称構造を有するNi₈₁Fe₁₉ (Py)単層におけるスピントルク強磁性共鳴による整流電圧の磁場角度依存性。Py層の層厚は1.5 nmであり、Lorentzian成分とAnti-Lorentzian成分に分解して評価した。

主要発表論文等: [1] Ke Tang, Yong-Chang Lau, Kenji Nawa, Zhenchao Wen, Qingyi Xiang, Hiroaki Sukegawa, Takeshi Seki, Yoshio Miura, Koki Takanashi, and Seiji Mitani, *Phys. Rev. Research* **3**, 033101-1-10 (2021). [2] Takeshi Seki, Yong-Chang Lau, Satoshi Iihama, and Koki Takanashi, *Phys. Rev. B* **104**, 094430-1-9 (2021).