

令和 5 年 6 月 9 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2022

課題番号：17K06303

研究課題名（和文）有機スピントラップ素子の創成

研究課題名（英文）organic spin seebeck

研究代表者

山田 和正 (yamada, kazumasa)

九州大学・理学研究院・助教

研究者番号：30380562

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、有機に熱スピン注入を行い、有機物中のスピン偏極電流の生成と検出について実験を行った。非晶質CoFeAlを強磁性層とし、カーボン有機伝導層、Ptをスピン流変換層とし、微細加工によりクロスバー構造を持つ有機スピントラップ素子を作成した。Ptの逆スピントラップ効果は大きく、スピン流変換層として適している。CoFeAl/アモルスファスカーボン/Ptクロスバーにおいて、Ptのスピン流変換によりCoFeAl層からの熱スピン流注入効果を観測できたと考えられる結果を示した。温度依存性の測定も行った。今後の課題として、CoFeAl層のネルンスト効果の寄与と分離が必要である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

スピンを利用したスピントラップ効果が発見された。しかし、熱伝導率の大きな無機材料を使用しているため、無駄に熱を伝えるため、発電効率が良くない。そこで、性能向上のため、有機をスピン伝導層として使用する有機スピントラップ素子を作成した。アモルスファスカーボンを使用した有機スピントラップ素子の測定により、アモルスファスカーボンのスピン緩和長が短いことが分かった。有機スピントラップ素子の創成により、モバイルコンピューティングおよびユビキタス社会実現のために、温度差を利用した環境発電が期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, we performed thermal spin injection into organic materials and conducted experiments on the generation and detection of spin-polarized currents in organic materials. An organic spin Seebeck device with a crossbar structure was fabricated by using amorphous CoFeAl as a ferromagnetic layer, carbon as an organic conduction layer, and Pt as a spin current conversion layer. Pt has a large inverse spin Hall effect and is suitable as a spin current conversion layer. In the CoFeAl/carbon/Pt crossbar, the thermal spin current injection effect from the CoFeAl layer was observed by the Pt spin current conversion. Temperature dependence measurements were also performed. As future work, contribution and separation of the Nernst effect of the CoFeAl layer are necessary.

研究分野：物性物理

キーワード：廃熱利用 スピン 有機

1. 研究開始当初の背景

モバイルコンピューティングおよびユビキタス社会実現のために、温度差を利用した環境発電が期待されている。実現する一つの方法としてスピンを利用したスピントラッキング効果が近年発見された。しかし、熱伝導率の大きな無機材料を使用しているため、無駄に熱を伝えるため、効率が良くない。

2. 研究の目的

そこで、図1のように性能向上のため、有機をスピン伝導層として使用する有機スピントラッキング素子を提案する。有機はスピン緩和長が長く、よくスピン流を伝達することができる。有機を使うことで、重金属などの使用を減らし、環境負荷を下げるができることと期待される。

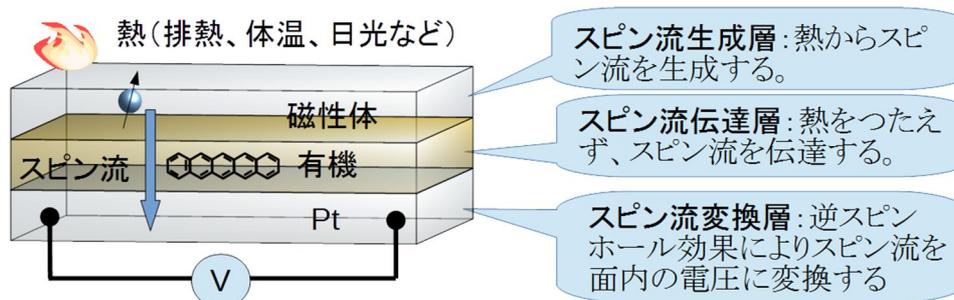


図1. 有機スピントラッキング素子の概念図

有機層を通過したスピンの流を逆スピンのホール効果により電圧に変換する。逆スピンのホール効果 (ISHE) による発生電圧は、 $E_{ISHE} \propto J_s \times \sigma$ 、異常ネルンスト効果 (ANE) による発生電圧は、 $E_{ANE} \propto \nabla T \times M$ と表される。ここで、 J_s 、 σ は、それぞれ、スピンの流、スピンの流を示す。

有機中のスピンの流の流れを本研究にて明らかにする。近年、有機におけるスピンの緩和に注目が集まっているが、これについても調べることができる。有機中のスピンの緩和時間は長く、スピンの流長は長いと期待されているが、高分子を用いたスピンのバルブ素子は良好なスピンの注入効率を示さず、スピンの緩和時間は短いと示唆されている。本研究のスピントラッキング素子によるスピンの注入とこの比較からこの矛盾を解明する。

3. 研究の方法

(a) 磁性材料として、熱伝導率が小さいスピンのギャップ半導体 CoFeMnSi の成膜および品質向上。加工しやすい有機膜であるアモルファスカーボン aC の微細加工技術の開発を行う。

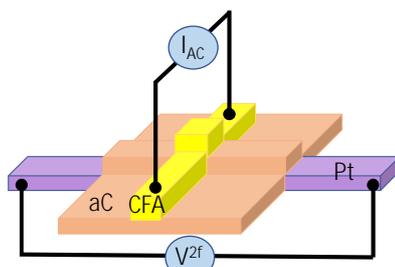


図2. 有機スピントラッキング素子の構造図

(b) 次に、有機材料として安価に成膜可能なアモルファスカーボン (aC) を、強磁性層として CoFeAl を、スピンの流電圧変換層として Pt を選び、図2のように Pt/aC/CoFeAl の3層構造を作成した。CoFeAl を交流 I_{AC} によりジュール加熱し、生じた温度勾配から電圧を発生させた。

4. 研究成果

(a) CoFeMnSi の X 線回折の結果を図3に示す。非加熱でスパッタ成膜したとき、ホイイスラー構造 (220) による回折ピークは見られなかったが、スパッタ成膜時の基盤加熱により結晶性が向上し、ホイイスラー構造 (220) による回折ピークが観測された。プレーナーホール効果の測定により結晶化した基盤加熱 CoFeMnSi のスピンの偏極率が高いことが示唆された。スピントラッキング素子材料として高性能が期待されることが分かった。アモルファスカーボンが容易に微細加工できることが分かった。

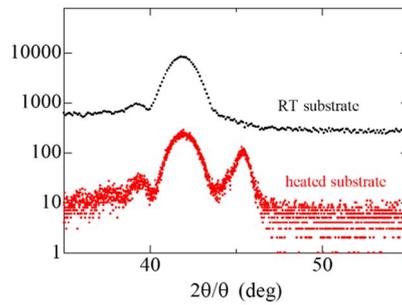


図 3. CoFeMnSi の XRD

(b) 上述のように作成した有機スピナーベック素子を第二高調波信号電圧 (V_{2f}) の磁場依存性を測定した。

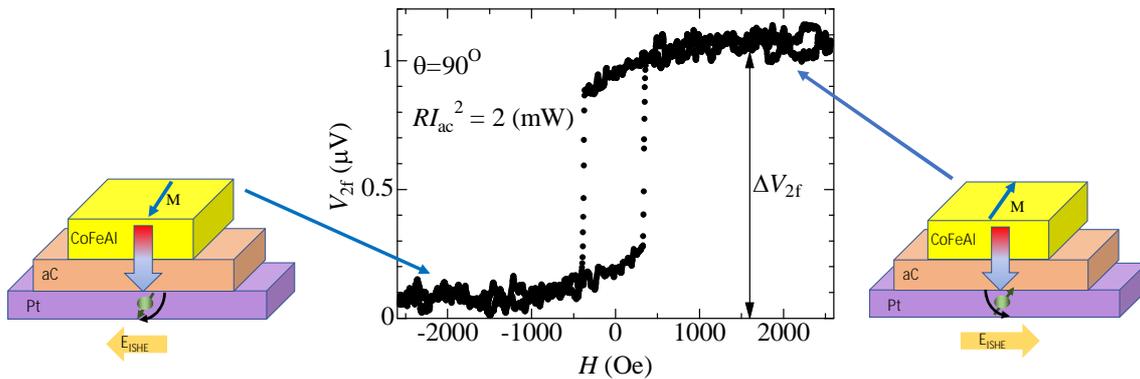


図 4. 第二高調波信号電圧 (V_{2f}) の磁場依存性

図 4 に aC の厚さ 6.7nm の膜の第二高調波信号電圧 (V_{2f}) の磁場依存性を示す。磁場を変化させると、強磁性層の磁化反転し、注入されるスピンの反転し、逆スピンホール効果により発生した電圧が反転し、 V_{2f} は大きく変化しと考えられる。

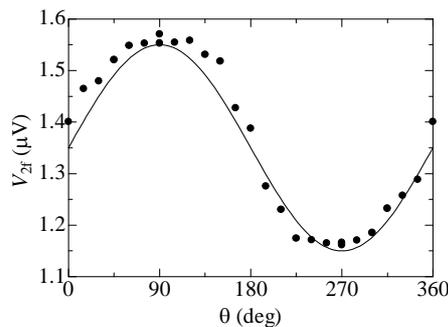


図 5. 発生電圧 V_{2f} の角度 依存性。

電圧 V_{2f} の磁場角度 依存性を図 5 に示す。電圧 V_{2f} は \sin 依存性を示す。角度依存性から、CoFeAl とアモルファスカーボンの温度差から熱スピン流が生じ、Pt 層の逆スピンホール効果により電圧に変換させることができたと考えられる。

電流を変化させて、加熱電力依存性を測定した。その結果を図 6(右)に示す。発生電圧 V_{2f} は、加熱電力 RI_{AC}^2 に比例し、熱勾配に比例していることが分かった。

以上の結果から、CoFeAl とアモルファスカーボンの温度差から熱スピン流が生じ、Pt 層の逆スピンホール効果により電圧に変換させることができた結論した。有機スピナーベック素子の創成という本研究の目標を実現できたといえる。

冷凍機で基板を冷却し、 V_{2f} の温度依存性を測定した(図 6 左)。温度低下とともに電圧が低下した。温度低下とともにスピン流の伝達効率が低下したためと考えられる。

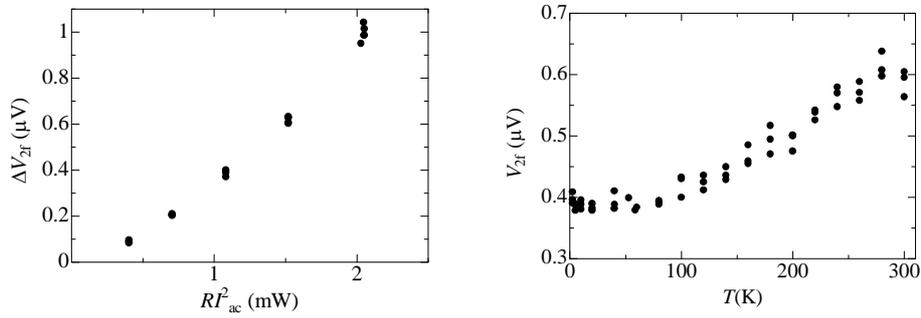


図 6. (右) 発生電圧 V_{2f} の加熱電力 RI_{AC}^2 依存性。 (左) V_{2f} の温度依存性

Pt (nm)	aC (nm)	CFA (nm)	V/I^2 (/A)
17.2	0	45.8	0.15
6.5	6.7	12.5	0.42
17.2	27	45.8	0

表 1、特性表

作製した試料のリストを表 1 に示す。比較的厚いアモルファスカーボン膜を持つ同様な 3 層構造においては、同様な発生電圧は観測されなかった。アモルファスカーボンは多数のダングリリングボンドをもつため、スピン緩和長は短く、スピン流を長距離に伝達できなかったためと考えられる。

今後の課題として、アモルファスカーボンのアニールによりダングリリングボンドを減らしスピン緩和長の伸長により性能を向上させることと、発生電圧に対する強磁性 CoFeAl 層の異常ネルンスト効果の寄与の分離することの二点が挙げられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 山田和正	4. 巻 16
2. 論文標題 スピンギャップレス半導体の成膜とプレーナーホール効果	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 低温センターだより	6. 最初と最後の頁 2-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Kazumasa Yamada, Bunju Shinozaki, Takashi Narikiyo, Yousuke Takigawa, Norihiro Kuroda, Toru Bando, Hiroaki Nakamura	4. 巻 247
2. 論文標題 Temperature dependence of mobility of conducting polymer polyaniline with secondary dopant	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Synthetic Metals	6. 最初と最後の頁 124-130
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.synthmet.2018.11.019	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Kazumasa Yamada, Takashi Kimura, Kelvin Elphick, Marjan Samiepour and Atsufumi Hirohata
2. 発表標題 Magnetic properties and planar Hall effect of CoFeMnSi films
3. 学会等名 Magnetism and Magnetic Materials Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山田和正 有木大晟 野村竜也 木村崇
2. 発表標題 強磁性多層膜ナノ構造における効果的な異常ネルンスト効果の検出
3. 学会等名 磁気記録・情報ストレージ研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Taisei Ariki, Kazumasa Yamada, Tatsuya Nomura, Takashi Kimura
2. 発表標題 Efficient inducement of Anomalous Nernst effects in laterally patterned ferromagnetic films
3. 学会等名 nano spin conversion
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 有木大晟, 山田和正, 野村竜也, 木村崇
2. 発表標題 強磁性ナノ細線における異常ネルンスト効果の効果的検出
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kohei Mizokami, Kazumasa Yamada, Taisei Ariki, Daiki Ito, Kohei Ohnishi, and Takashi Kimura
2. 発表標題 Spincurrent transports in bilayer spin channels
3. 学会等名 24th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (ICMFS-2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yamada Kazumasa, K. Inoue, Md Kamruzzaman, S. Hu, K. Ohnishi, and T. Kimura
2. 発表標題 Three-dimensional heat analysis using magneto-thermoelectric effects in a ferromagnetic nanowire
3. 学会等名 24th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (ICMFS-2022)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

年次報告書

<https://www.phys.kyushu-u.ac.jp/koho/report.html>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
英国	ヨーク大学			