

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25年 5月31日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2012

課題番号：23740270

研究課題名（和文） 分子性導体に対するスピン注入と輸送特性の評価

研究課題名（英文） Spin injection and transport in molecular conductors

## 研究代表者

川相 義高 (Kawasugi Yoshitaka)

大阪大学大学院・基礎工学研究科・助教

研究者番号：40590964

## 研究成果の概要（和文）：

有機材料はスピンを散乱しにくいことが期待され、次世代のスピントロニクス材料として注目されている。これまで有機スピンバルブに関する研究が有機半導体を用いて行われてきたが、本研究では高い電気伝導度を持つ分子性導体を用いた。その結果、有機材料で初めて非局所スピンバルブ測定が可能になり、実際にスピン緩和時間はアルミや銅といった軽い金属やグラフェンよりも長いことが明らかになった。

## 研究成果の概要（英文）：

It has been predicted that organic materials consisting of light elements have long spin relaxation time owing to their weak spin-orbit interaction. In this study, we prepared spin valve devices based on molecular conductors, instead of commonly used organic semiconductors. The spin relaxation time was evaluated to be longer than those in aluminum, copper, and graphene.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,400,000	1,020,000	4,420,000

## 研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学 物性II

キーワード：分子性導体 スピントロニクス スピンバルブ

## 1. 研究開始当初の背景

有機材料は次世代のエレクトロニクス材料として注目されているが、軽元素から成るためスピンが散乱されにくく、スピントロニクス材料としても有望である。実際に10年ほど前から有機スピンバルブの研究が行われるようになってきているが、先行研究は有機半導体に限定されており、低い電気伝導度のためか、無機材料を超えるスピン輸送能力の発現には至っていない。

また、デバイス特性の再現性が無機スピンバルブと比べて低く、有機材料中のスピン輸送に関して理解が進んでいないのが現状である。まずはスピン輸送における有機材料の特長を調べ、材料選択の指針とすることが不

可欠であると考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究では有機物におけるスピン輸送現象を評価することを目的として、分子性導体を用いたスピンバルブを作製し、後述する「非局所スピンバルブ測定」を試みた。

## 3. 研究の方法

分子性導体は有機物でありながら金属の電子状態をもっているため、すでに確立されている、金属スピンバルブの手法を用いた評価がしやすい。とりわけ、本研究で用いた、電流経路と測定端子が分離した非局所測定は、スピン輸送能力を精密に測定できるため、

既存の金属材料と有機材料におけるスピン輸送の違いを評価する上で非常に有用である。これは電気伝導度の高い分子性導体を利用したことによってはじめて実現した。

具体的には強磁性電極をパターンニングした基板の上に、電気分解法で合成した分子性導体の薄膜状単結晶を貼りつけることによって横型スピンバルブ構造を作製し、4つの電極を使用して非局所測定を行った。

#### 4. 研究成果

(1) 分子性導体  $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu[N(CN)<sub>2</sub>]Br を用いて室温で非局所測定を行った結果、有機材料で初めて非局所磁気抵抗効果が観測

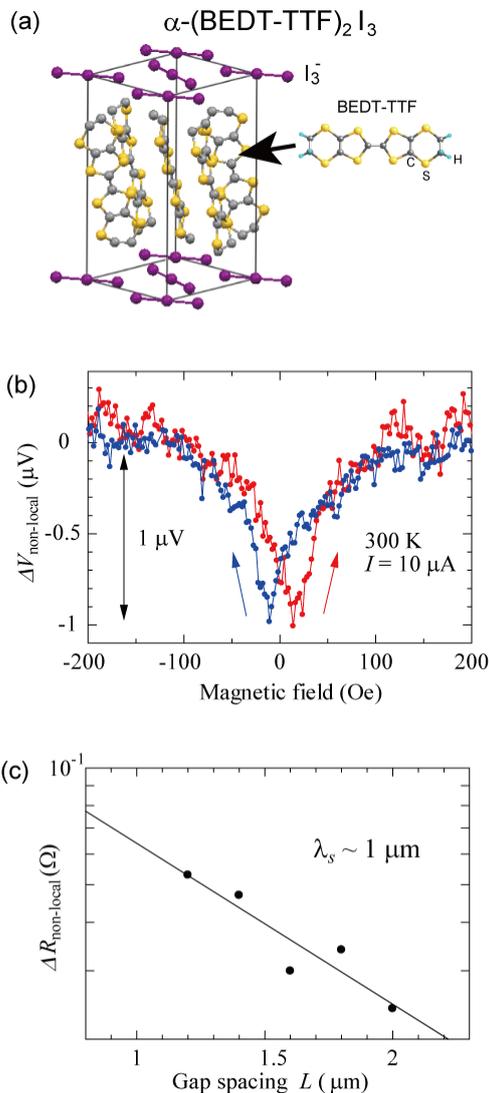


図 1: (a)  $\alpha$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>I<sub>3</sub> の結晶構造 (b) 室温における非局所スピンバルブ効果 (c) 非局所スピンバルブ効果の電極間距離依存性

され、分子性導体中の電子が 1ns 以上のスピン緩和時間を持つと見積もられた。この値はアルミや銅といった軽い金属やグラフェンよりも大きく、有機分子から成る物質で実際にスピンが散乱されにくいことを示唆している。

(2) 同様の測定を  $\alpha$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>I<sub>3</sub> についても行った。同一試料内でギャップ間隔を変えて測定を行い、1 $\mu$ m 程度のスピン拡散長が得られた(図 1)。

(3) さらに高いスピン輸送能力(長いスピン緩和時間および拡散長)を実現するため、有機物で、かつ電子の散乱が少ないゼロギャップ導体である圧力下の  $\alpha$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>I<sub>3</sub> を用いてスピンバルブを作製し、同様に非局所測定を行った。試料を基板ごと加圧するため、プラスチック基板の上に電子線リソグラフィを用いて強磁性電極をパターンニングし、フレキシブルスピンバルブを作製して(図 2)加圧した。その結果、非局所磁気抵抗効果が観測され、 $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu[N(CN)<sub>2</sub>]Br よりも長い 3ns のスピン緩和時間が見積もられた(図 3)。

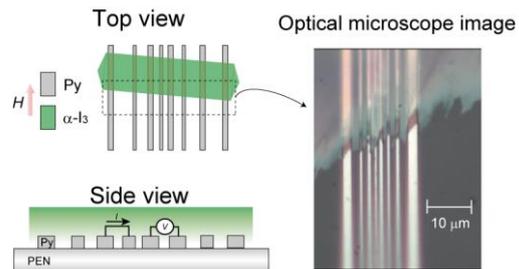


図 2: プラスチック基板を用いて作製した分子性導体スピンバルブの模式図(左)と光学顕微鏡写真(右)

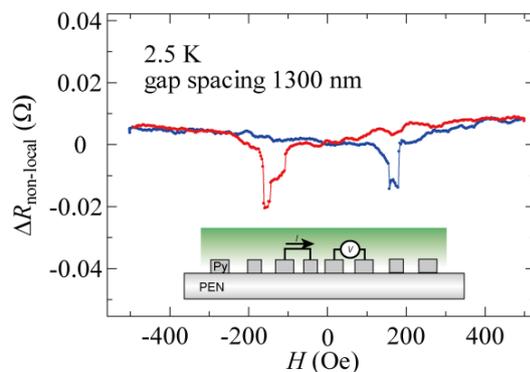


図 3: 圧力下の  $\alpha$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>I<sub>3</sub> を用いたスピンバルブにおける磁気抵抗効果

(4) 分子性導体と同様に高い電気伝導度を持つ導電性高分子PEDOT:PSSを用いてスピバルブを作製した(図2)。PEDOT:PSSは $\alpha$ -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ と同程度の拡散係数、緩和時間を持つことが期待されるにもかかわらず、非局所磁気抵抗効果は観測されなかった。これにはスピンをもたないバイポーラロンによる伝導が支配的である、もしくは、有機/電極界面におけるスピン偏極率の損失が分子性導体の場合と比べて大きい、などの理由が考えられる。

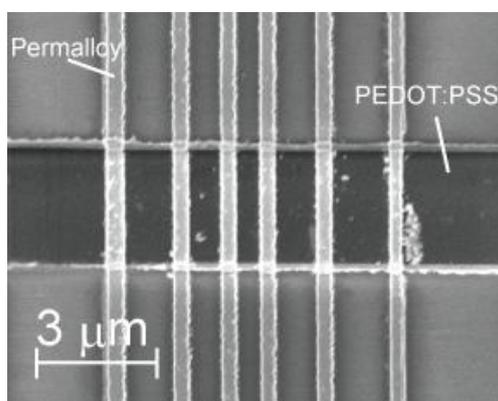


図4: 導電性高分子 PEDOT:PSS を用いたスピバルブの電子顕微鏡写真

以上より、本研究では電流によるスピン注入に最も適していると考えられる2種類の有機材料、すなわち分子性導体と導電性高分子に対して非局所スピバルブ測定を行った。分子性導体では金属やグラフェンを超えるスピン緩和時間を観測した一方で、導電性高分子ではスピン注入によるシグナルは確認できなかった。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

① Yoshitaka Kawasugi, Masato Ara, Hiroaki Ushirokita, Takeshi Kamiya, and Hirokazu Tada  
 “Preparation of lateral spin-valve structure using doped conducting polymer poly(3,4-ethylenedioxythiophene) poly(styrenesulfonate)”  
 Organic Electronics 14, 1869-1873 (2013).  
 [査読有]

DOI: 10.1016/j.orgel.2013.04.026

[学会発表] (計7件)

① 川楯義高, 荒正人, 多田博一  
 「分子性導体を用いた非局所スピバルブの研究」  
 日本物理学会 2011 年秋季大会  
 2011 年 9 月 22 日  
 富山大学(富山県)

② 川楯義高, 荒正人, 多田博一,  
 「導電性低分子材料を用いた有機スピバルブの研究」  
 第72回応用物理学会学術講演会  
 2011 年 9 月 1 日  
 山形大学(山形県)

③ 神谷建, 川楯義高, 荒正人, 多田博一,  
 「圧力下  $\alpha$ -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$  を用いたスピバルブの作製」  
 日本物理学会第67回年次大会  
 2012 年 3 月 24 日  
 関西学院大学(兵庫県)

④ Yoshitaka Kawasugi  
 “Non-local magnetoresistance measurement of molecular conductor”  
 International Workshop on Advanced Materials and Nanotechnology 2012 (招待講演)  
 2012 年 06 月 22 日  
 ハノイ(ベトナム)

⑤ Yoshitaka Kawasugi, Takeshi Kamiya, Masato Ara, and Hirokazu Tada  
 “Lateral spin-valves based on molecular conductors”  
 4th International Meeting on Spins in Organic Semiconductors  
 2012 年 09 月 10 日  
 ロンドン(イギリス)

⑥ 神谷建, 川楯義高, 荒正人, 多田博一  
 「分子性導体  $\alpha$ -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$  を用いた非局所スピバルブ測定」  
 日本物理学会 2012 年秋季大会  
 2012 年 09 月 18 日  
 横浜国立大学(神奈川県)

⑦ 神谷建, 川楯義高, 荒正人, 多田博一  
 「分子性導体  $\alpha$ -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$  を用いた非局所スピバルブ測定 II -AMR 効果とスピン注入の考察-」  
 日本物理学会第68回年次大会

2013年03月26日  
広島大学(広島県)  
〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕  
○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

川楯 義高 (KAWASUGI YOSHITAKA)

大阪大学大学院・基礎工学研究科・助教

研究者番号：40590964