

課題番号 :S-14-OS-0019, F-14-OS-0027
利用形態 :共同研究
利用課題名 (日本語) :擬ゼロホール係数材料を用いた電流-スピン流変換機能
Program Title (English) :Generation of spin current in quasi-zero Hall coefficient conductor YH₂
利用者名 (日本語) :酒井政道¹⁾, 櫻庭琢士¹⁾, 大友貴史¹⁾, 春山翔太¹⁾, 工藤 駆¹⁾, 高尾 啓¹⁾, 松永智善¹⁾
大島明博²⁾, 長谷川繁彦²⁾, 中村 修³⁾
Username (English) :M. Sakai¹⁾, T. Sakuraba¹⁾, T. Otomo¹⁾, S. Haruyama¹⁾, K. Kudo¹⁾, H. Takao¹⁾,
T. Matsunaga¹⁾, A. Oshima²⁾, S. Hasegawa²⁾, O. Nakamura³⁾
所属名 (日本語) :1) 埼玉大学大学院理工学研究科物質科学部門, 2) 大阪大学産業科学研究所,
3) 岡山理科大学
Affiliation (English) :1)Division of Material Science, Graduate School of Science and Engineering, Saitama
University, 2)The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University.
3)Okayama University of Science

1. 概要 (Summary)

擬ゼロホール係数特性を有する水素吸蔵体 YH₂ では、ホール効果における横電流 (ホール電流) に正味の電荷輸送が発生しない。なぜならば、近似的に同じ濃度・同じ移動度を持つ電子と正孔がローレンツ力によって、同じ向きに走行するからである。この性質を純スピン流の生成に応用するのが我々の狙いであるが、そのためには、ホール素子を流れるバイアス電流がスピン偏極している必要があり、効果的なスピン注入が必要である。電流密度のスピン偏極には、必ずしもキャリア密度をスピン偏極させる必要はなく、キャリア速度にアップとダウンスピンの分裂を導入できれば良い。

本研究では、チャンネル領域は非磁性体である YH₂ にしたまま、チャンネル長を約 10 μm と短くした上で、ソース電極として強磁性体 Co を用いると云うアプローチの下、チャンネル流域へのスピン注入が可能かどうかを、25 年度に引き続き、ホール抵抗 (HR) 及び横磁気抵抗 (TMR) の測定・解析によって研究した。

25 年度と異なる点は、YH₂ チャンネル部が大気に触れることで発生する素子劣化対応を施した点であり、その結果、再現性のある HR 及び TMR 測定が可能となった。

2. 実験 (Experimental)

・利用した主な装置：ナノ薄膜形成システム、マスクアライナー、LED 描画システム

・実験方法

ホール素子はフォトリソグラフィー及び電子ビーム蒸着法で作製した。Si ウェハ上に SiO₂ をスパッタ法で成膜し、下地に Cr を 10 nm、電極に Co を 200 nm、チャンネル下地に Ti を 10 nm、チャンネル部に Y を 400 nm、保護膜として Pd を 20 nm 蒸着した。その後、室温下で 3% 水素雰囲気と約 10 分間反応させ、YH₂ チャンネル層とする。このようなホール素子作製は 24 年度から実施しているが、25 年度までは、YH₂ チャンネル層形成後にリフトオフ工程を行い、チャンネル部以外を覆っているレジストを除去していたが、今年度は、その工程を省略した。理由は、YH₂ チャンネル側面からの酸化をレジスト膜で防ぐことを意図したからである。

測定結果の解釈・解析に必要な TMR および HR の表式については、25 年度研究で導出したので、それを用いる。この計算では、スピン分裂を、すなわち、アップスピンとダウンスピンキャリア間に生じる、電極からのスピン注入による化学ポテンシャルの分裂を考慮して、外部磁場依存性を導出した。

3. 結果と考察 (Results and Discussion)

Fig.1 に、作製した Co 電極-YH₂ チャンネルホール素子の顕微鏡写真を示す。撮影の都合上、レジスト膜は除去している。Fig.2 は、観測された TMR と HR の磁場依存性を示す。測定温度は室温である。これらの試料のゼロ磁場室温比抵抗は約 $6 \times 10^{-6} \Omega \text{m}$ である。TMR の符号は先行研究の結果と異なり正であり、5 T おける TMR 比は -0.1 ~ -0.15% の範囲に留まっている。ホー

ル係数も先行研究に比較して小さい。今回は、HR, TMR 共に複数の個体で同様の値が観測されているので、これが Co を電極に使った固有の特性であると考えている。

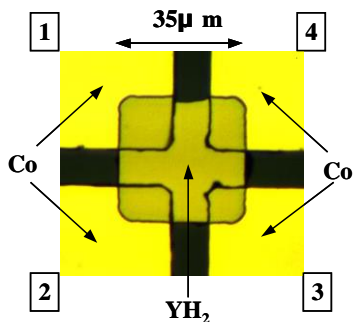


Fig. 1: Optical microscopy image of our Hall device Co-YHx ($x \approx 2$). Four Co electrodes are located at the corners of the square YHx ($x \approx 2$) region. In this image, the resist layer used when fabricating the square the square YHx is lift-offed.

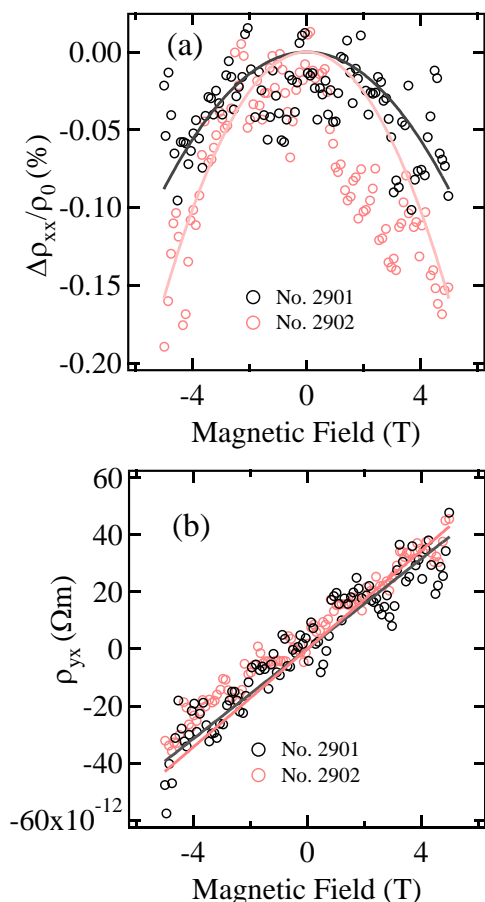


Fig. 2: (a) Room-temperature TMR ratio and (b) Hall resistivity observed in Co-YHx ($x \approx 2$).

一方、今回、Co 電極の代わりに Au 電極を使用したホール素子では、従来の YH₂ 単膜と同程度の TMR

(0.05%以下@5 T) および HR 信号しか ($2 \times 10^{-11} \Omega m$ 以下@5T) 観測されず、このことから、Fig.2 で示された結果が、Co 電極の効果であることが分かる。

Co 電極からのスピン注入によるスピン分裂、スピン軌道相互作用、及び外部磁場を考慮した HR 及び TMR の表式を用いて、今回の測定結果を解析した。その結果、スピン軌道相互作用の強さの磁場換算値として、約 300 T、スピン分裂由来の有効電場の違いから生じる電流スピン偏極度としては、約 5% が得られた。これは、スピン注入効果の結果と考えられる。

4. その他・特記事項 (Others)

挑戦的萌芽研究, 2012~2014 年度, 研究代表者・酒井政道, 「電流注入型スピン偏極度計のデザインと擬似 XOR ゲートへの応用」

共同研究者: 北島彰、樋口宏二、法澤公寛

(大阪大学ナノテクノロジー設備供用拠点)

5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

- (1) M. Sakai, H. Takao, T. Matsunaga, Y. Tanaka, T. Arai, S. Haruyama, T. Otomo, H. Hiramata, T. Sakuraba, Z. Honda, K. Higuchi, A. Kitajima, A. Oshima, S. Hasegawa, and H. Awano, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. **54** (2015) p.p.013001-1~11.
- (2) T. Sakuraba, M. Sakai, T. Arai, Y. Tanaka, H. Hiramata, Z. Honda, A. Kitajima, K. Higuchi, A. Oshima, and S. Hasegawa, JPS Conf. Proc. Vol.1 (2014) p.p 012009-1~6.
- (3) 酒井政道、高尾啓、松永智善、桜庭琢士、本多善太郎、樋口宏二、北島彰、大島明博、長谷川繁彦、栗野博之、日本物理学会 2014 年秋季大会、中部大学春日井キャンパス、2014 年 9 月 10 日.
- (4) 酒井政道、イノベーション・ジャパン 2014、東京ビッグサイト、江東区、2014 年 9 月 11、12 日.

6. 関連特許 (Patent)

- (1) 酒井政道、中村 修、スピントロニクス装置及び論理演算素子、特許登録第 5551912 号(登録日 2014 年 5 月 30 日)
- (2) 酒井政道、中村 修、長谷川繁彦、北島 彰、大島明博、スピントロニクス装置及び論理演算素子、特許登録第 5601976 号(登録日 2014 年 8 月 29 日).