

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 24 日現在

機関番号：12401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24656007

研究課題名(和文)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

研究課題名(英文)A design of spin polarization analyzer and its application to quasi-exclusive OR gate

研究代表者

酒井 政道(SAKAI, Masamichi)

埼玉大学・理工学研究科・教授

研究者番号：40192588

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：スピン偏極電流を非磁性伝導体に注入して、キャリアの電気化学ポテンシャルにスピン分裂を導入し、それがホール抵抗(HR)や横磁気抵抗(TMR)に与える影響を理論的に調査することによって、非磁性体に隣接する磁性体のスピン偏極度の測定法を提案した。一方、光学リソグラフィー工程を用いて、Au, Co, TbFeCoを電極に、Au, Cu, YH<sub>2</sub>, ScH<sub>2</sub>を伝導チャンネルに用いたチャンネル長約10μmのホール素子を製作し、それらのHR及びTMRを測定した。非磁性電極の代わりに磁性電極を用いると、HRとTMR信号が増強され、特に後者の符号は伝導チャンネル材料の種類に無関係に一律に負になることが見出された。

研究成果の概要(英文)：We have theoretically and experimentally designed the spin-polarization analyzer making use of the quasi-zero Hall coefficient (QZHC) characteristic in bipolar conductors such as dihydride phase of Y and Sc. We derived the closed formulae of Hall resistivity (HR) and transverse magnetoresistivity (TMR) in the presence of spin splitting in electrochemical potential (ECP) caused by spin-polarized current injection from ferromagnetic electrodes. Our experiments used Co and/or TbFeCo as source and drain electrodes, from which the spin-polarized currents are injected into the bipolar conductor region. As predicted by our calculation, both HR and TMR are enhanced when these magnetic electrodes are used instead of nonmagnetic Au electrode. The enhancement is caused by the coupling mechanism between applied magnetostatic field and spin-orbit interaction through the spin splitting in the ECP. This feature as well as material choice can be applied to operation of exclusive OR gate.

研究分野：磁気伝導物性・スピントロニクス

キーワード：スピン軌道相互作用 スピン偏極 排他的論理和ゲート

### 1. 研究開始当初の背景

従来、固体中のスピン偏極度測定には、スピン偏極トンネリング効果を用いる方法(R. Meservey and O. M. Tedrow, Phys. Rep. 238 (1994) 173)と、アンドレーフ反射を利用する方法(M. J. M. de Jong and C. W. J. Beenakker, Phys. Rev. Lett. 74 (1995) 1657)が採用されてきた。前者では第1強磁性層/絶縁層/第2強磁性層という3層構造2種類の磁性体を用いるため、被測定材料は磁性体に限られ、一方、後者では被測定材料に超伝導体を接合するので、試料全体を超伝導状態に達するまで冷却する必要があることに加えて、被測定材料のフェルミ準位が電子に占有されている必要があるため、金属にしか適用できない。このように従来の方法では、被測定材料の磁性・導電性と測定温度に制約があり、例えば、半導体のスピン偏極度を室温下で測定するのは大変困難であった。

本研究開始当時、応募者は、電荷輸送の伴わない純スピン流生成に関する研究を、擬ゼロホール係数特性を有する両極性伝導体に注目して行っていた(M. Sakai et al., Generation of Spin Current in Bipolar Conductors, Jpn. J. Appl. Phys. 50 (2011) 103002)。研究遂行には、異常ホール効果に関する包括的な理解が必要だったので、スピン拡散長以下の電流チャネルサイズをもつ単極性伝導体における縦および横抵抗率を、スピン二流体モデル(A. Fert and I. A. Campbell, Phys. Rev. Lett. 14 (1968) 1190)を用いて計算していたが、その結果、ホール素子における縦横抵抗比  $y_{xx}/x_{xx}$  が、キャリアスピン偏極度  $P_c$  に比例、その比例係数がキャリア移動度  $\mu$  とスピン軌道相互作用による有効磁場 ( $S$ ) の積であることを理論的に明らかにしていた。この知見を利用すれば、キャリアスピン偏極度測定が可能になると予想した。

### 2. 研究の目的

応募申請段階で設定した研究目的は以下のとおりである。

(1) 高い移動度と大きなスピン軌道相互作用を有する非磁性金属からなるチャネル領域にスピン偏極電流を供給し、その際の縦横抵抗比  $y_{xx}/x_{xx}$  のスピン偏極度依存性を測定しつつ、スピン偏極度計を製作し、その後(2)スピン偏極度計を基本ユニットとして、偏極度を入出力量とする擬似排他的論理和(EXOR)ゲートを製作し、入出力関係にEXORゲートに特徴的な可逆性が保たれるかを評価する。

### 3. 研究の方法

(1) スピン偏極度計及びそれに基づいたEXORゲートのデザインに関する理論的研究

スピン偏極度計を設計するにあたって、スピン偏極度には、アップスピンとダウンスピンのキャリア濃度に基づいて定義されるキャリアスピン偏極度  $P_c$  と、それらの電流密

度に基づいて定義される電流スピン偏極度  $P_j$  の2種類あることに留意した。本研究開始当時には、前者の  $P_c$  がホール抵抗(HR)と横磁気抵抗(TMR)に及ぼす影響は予測出来ていたが、後者の  $P_j$  がそれらに与える影響については、理論的に不明であった。 $P_j$  が非磁性体中のスピン蓄積の指標であり、EXORゲートの性能を実質的に決めていると考えて、我々は、先行計算で用いたモデルに、スピン注入によって生じる非磁性体中のスピン蓄積の影響を取り入れて、HRとTMRの表式を解析的に導いて、それぞれを  $P_j$  の関数として表現し、数値計算を、非磁性チャネルが単極性伝導の場合とそれが両極性伝導の場合について行った。

(2) 非磁性伝導体をチャネル領域、強磁体をソース・ドレイン電極とする準微小ホール素子の製作とHR及びTMR測定

上記の理論予測を実証するために、ソース電極に強磁性金属(FM)(FM=Ni, Co, Tb<sub>26</sub>Fe<sub>66</sub>Co<sub>8</sub>)を用い、電流チャネル(チャネル長 10  $\mu$ m)には非磁性金属(NM=Au, Cu, YH<sub>2</sub>, Sch<sub>2</sub>)を用いた準微小ホール素子(FM/NM)を光学リソグラフィ工程によって製作し、FM電極からNMチャネルにスピン偏極電流を注入しながら、HR及びTMR測定を外部磁場下で行った。測定温度は室温である。

(3) スピン偏極キャリアを利用するEXORゲートの製作

当該ゲート製作には、( )スピン注入用強磁性電極磁化の平行・反平行着磁、( )高  $\mu$ S 値非磁性導体の開発、( )素子チャネル長のスピン拡散長以下への短縮化、と云う3段階があるが、本研究では、(I)と(II)を行った。

### 4. 研究成果

(1) 非磁性導体のHR及びTMRに対するスピン注入効果に関する理論計算、及びEXORゲートのデザイン

計算は、アップスピン電子/正孔とダウンスピン電子/正孔がそれぞれ独立に電気伝導に寄与する2x2流体モデルに基づき、(1)外部磁場、(2)スピン軌道相互作用による有効磁場、(3)非磁性導体のパウリ常磁性によるキャリアスピン偏極、及び(4)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電気化学ポテンシャルの分裂(スピン蓄積効果)を考慮し、ソースとドレインの磁化が平行(P状態)の場合と、反平行の場合(AP状態)それぞれについて、HRおよびTMRの表式を解析的に導いた。P状態では、正孔スピンと電子スピンが共に平行であり、AP状態では、それらが互いに反平行である。P状態の表式は、論文 M. Sakai et al, The Hall resistivity and transverse magnetoresistivity generated in the simultaneous presence of spin-polarized current and external

magnetic field in a nonmagnetic bipolar conductor YH<sub>2</sub>, Jpn. J. Appl. Phys. 54, 013001 (2015) の(32)及び(33)式に示した。単極性伝導体の表式を得るには、両極性伝導体の表式中のキャリア偏極度をゼロにすればよく、上記論文中の(48)及び(49)式にそれらの表式を示した。

導出した表式にもとづいた HR と TMR の計算結果を図 1 に示す。電流スピン偏極度  $P$  (この計算では、 $P_j=0.25$ ) 以外のパラメータは、非磁性両極性伝導体 YH<sub>2</sub> において、予め実験的に評価されている値を用いている (比抵抗  $4.2 \times 10^{-7} \text{ m}$ 、トータルキャリア濃度  $6.5 \times 10^{27} \text{ m}^{-3}$ 、キャリア移動度  $2.3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/(\text{Vs})$ 、スピン軌道相互作用による有効磁場 183 T)。特徴は、(i) P 状態時に約  $4 \times 10^{-10} \text{ m}^3/\text{C}$  (@2T) だった HR は、A P 状態時には、約  $6 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{C}$  (@2T) と、約 150 倍に増大し、(ii) TMR は P 状態時に負値で約 0.2 % (@ 2 T) であるのに対して、A P 状態時にはそれが約 0.02% (@ 2 T) に減少する、(iii) このように P - A P 状態間では、HR と TMR が相補的に変化する。

図 2 には、これらの計算結果に基づいて、ホール素子中のキャリアの軌道偏向状態を模式的に描いた。この図より、P 状態では、低横電圧 - 高縦電圧に、A P 状態では高横電圧 - 低縦電圧となることが定性的に理解できる。我々の方法では、これらの特性を利用して、EXOR ゲートを図 3 の様に構成する。

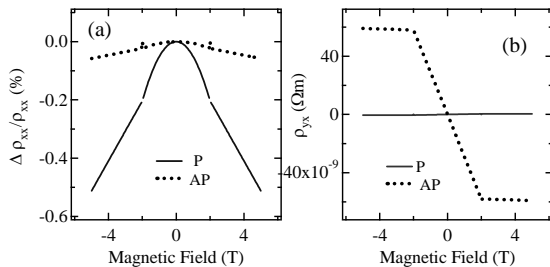


図1: 強磁性電極の磁化状態(平行(P)/反平行(AP))に依存した横磁気抵抗比(a)とホール抵抗(b)の計算結果

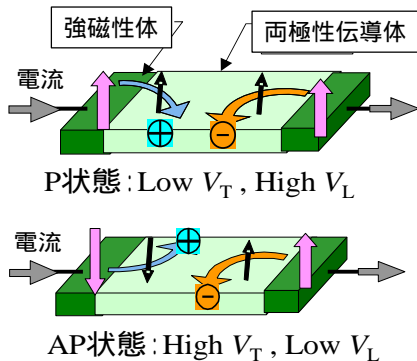


図2: スピン軌道相互作用による軌道偏向がもたらす定常状態における電荷蓄積の模式図:電極磁化が平行(上)と電極磁化が反平行(下)

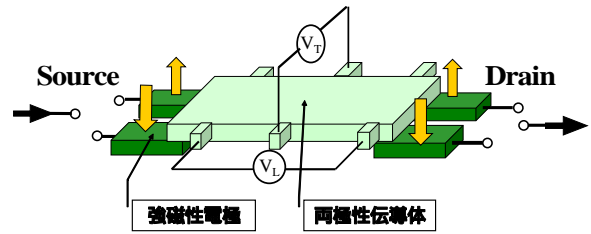


図3: 両極性伝導体を利用した排他的論理和ゲート

表 1: 図 1 のゲートに期待される論理演算動作

| Source | Drain | 横電圧( $V_T$ ) | 縦電圧( $V_L$ ) |
|--------|-------|--------------|--------------|
| Up     | Up    | Low          | High         |
| Up     | Down  | High         | Low          |
| Down   | Up    | High         | Low          |
| Down   | Down  | Low          | High         |

(2) 非磁性伝導体をチャネル領域、強磁体をソース・ドレイン電極とする準微小ホール素子の製作と HR 及び TMR 測定

製作した素子の光学顕微鏡画像を図 4 に示す。図は電極が Co、チャネル部が YH<sub>2</sub> の場合であるが、他の電極/チャネル材料の場合も同じ光学マスクで製作した。

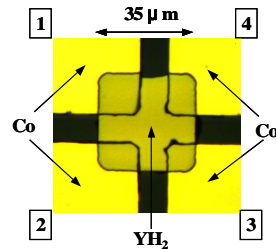


図4: 光学リソグラフィによって製作した準微小ホール素子の光学顕微鏡画像

伝導チャネルが単極性伝導体 (Au 及び Cu) の場合には、電極を Au, TbFeCo の 2 種類について調査した。TbFeCo 電極 (4 個) の磁化状態は P 状態である。TbFeCo 電極 - Au チャネルでは、Au 固有の性質では説明できない信号が観測された (図 5)。チャネルを Au の代わりに Cu を用いた場合にも同様な振る舞いが観測された (図 6)。

伝導チャネルが両極性伝導体 (YH<sub>2</sub> 及び ScH<sub>2</sub>) の場合には、電極を Au, Co, TbFeCo の 3 種類について調査した。Au 電極については、HR と TMR 信号には、YH<sub>2</sub> チャネル固有の特性だけが観測されるのに対して (図 7)、Co 電極 (図 8) と TbFeCo 電極 (図 9) では、YH<sub>2</sub> 固有の性質では説明できない信号が観測された。チャネルを YH<sub>2</sub> の代わりに ScH<sub>2</sub> を用いた場合にも同様な振る舞いが観測されている。

これらの結果 (図 5, 6, 7, 8, 9) は、電極として用いた Co や TbFeCo が、チャネル材料として用いた非磁性材料 (Au, Cu, YH<sub>2</sub>, ScH<sub>2</sub>) の磁気伝導特性に顕著な変化をもたらしていることを意味する。特に、電極に上記

の磁性体を用いるとき、上記の4種類の全ての非磁性体に負の横磁気抵抗が観測されたことは、これらの負の磁気抵抗発生が、外部磁場由来のローレンツ力の磁気力だけでは理解できず、スピン注入によって発生する電流スピン偏極とそれが誘起するスピン軌道相互作用が関わっていることを意味する。具体的にどうなっているかを理解するために、(1)で説明したスピン注入・蓄積効果を考慮した磁気伝導度計算を行い、計算に使用するパラメータ(電流スピン偏極度  $P_J$  とスピン軌道相互作用による有効磁場  $S$ ) を調整して、測定結果を再現する回帰分析を行った(図7、8、9 中実線)。表2に得られた各種パラメータ値を示す。YH<sub>2</sub>に対して電極にCoを用いた場合には、電極からのスピン偏極電流注入によって、YH<sub>2</sub>領域の電流スピン偏極度  $P_J$  が約5% (@ 5 T)に、また、電極にTbFeCoを用いた場合には、それが約18% (@ 5 T)に達していることが推定される。一方、キャリア密度に関するスピン偏極度  $P_C$  は、約0.7% (@ 5 T)である。これは外部磁場印加によるパウリ常磁性による。

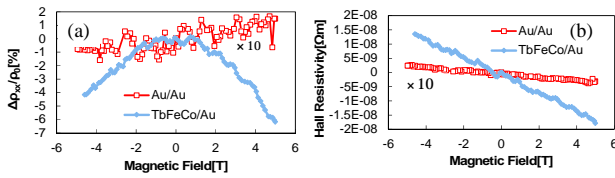


図5: Au/Au及びTbFeCo/Auにおける横磁気抵抗(a)とホール抵抗(b)

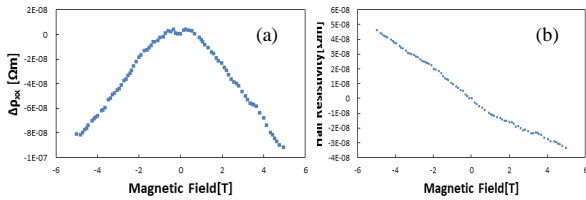


図6: TbFeCo/Cuにおける横磁気抵抗(a)とホール抵抗(b)

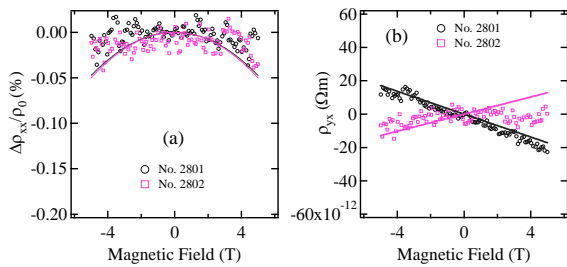


図7: 電極Au / 伝導チャンネルYH<sub>2</sub>における横磁気抵抗比(左)とホール抵抗(右)

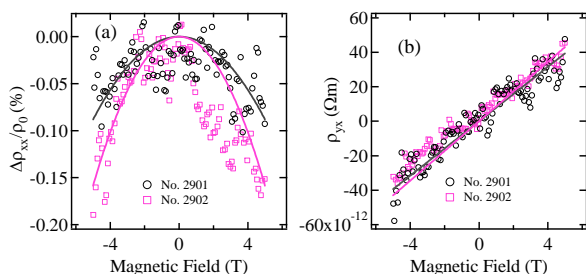


図8: 電極Co / 伝導チャンネルYH<sub>2</sub>における横磁気抵抗比(左)とホール抵抗(右)

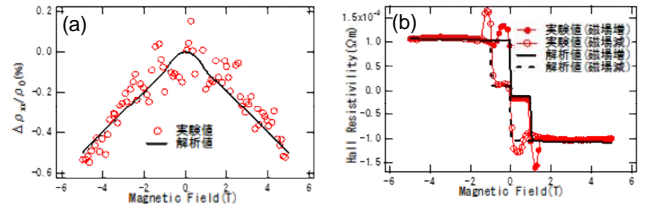


図9: 電極TbFeCo / 伝導チャンネルYH<sub>2</sub>における横磁気抵抗比(左)とホール抵抗(右)

表2: 回帰分析によるAu/YH<sub>2</sub>, Co/YH<sub>2</sub>, 及びTbFeCo/YH<sub>2</sub>における伝導パラメータ評価

| 電極材料   | チャンネル材料         | 比抵抗 (実験値) (10 <sup>-7</sup> Ωm) | キャリア偏極度 | 移動度 (10 <sup>-3</sup> m <sup>2</sup> V <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> ) | S (T) | P <sub>J</sub> @5 T |
|--------|-----------------|---------------------------------|---------|--|-------|---------------------|
| Au     | YH <sub>2</sub> | 7.4                             | ±0.002  | 4.9  | 339   | 0                   |
| Co     |                 | 5.5                             | -0.002  | 3.7  | 285   | 0.05                |
| TbFeCo |                 | 4.4                             | -0.009  | 4.2  | 337   | 0.18                |

我々のモデル計算によれば、スピン注入された非磁性体が負の磁気抵抗を示すのは、単極性伝導体では、近似的に

$$\left[ \frac{\Delta\rho_{xx}}{\rho_{xx}} \right]_{SC} \cong -(1 + \mu^2 S^2) P_C P_J \quad (1)$$

両極性伝導体では、近似的に

$$\left[ \frac{\Delta\rho_{xx}}{\rho_{xx}} \right]_{BP} \cong -2\mu^2 B S P_J \quad (2)$$

という項の寄与による。前者は、直接的には外部磁場に依存せず、キャリアスピン偏極度と電流スピン偏極度の両方に依存するのに対して、後者では外部磁場 ( $B$ ) は必須であるが、電流スピン偏極度だけに依存する、と云う違いがある。したがって、両極性伝導体では、 $B$  値と  $S$  値が既知であれば、横磁気抵抗比から  $P_J$  値が評価できる点で、単極性伝導体に比べて、測定が簡便である。

一方、非磁性体のチャンネル長がそのスピン拡散長より十分短い場合には、境界条件(電流密度と電気化学ポテンシャルがアップ/ダウンスピン毎に界面で連続)より近似的に

$$P_J \approx P_C^{(FM)} - P_C^{(NM)} \approx P_C^{(FM)} \quad (3)$$

が成り立つので、横磁気抵抗比から評価された  $P_J$  値がそのまま、磁性電極のキャリアスピン偏極度  $P_C^{(FM)}$  を与える。これが、本研究がデザインするスピン偏極メーターの原理である。本研究で製作したホール素子のチャンネル長は約 10 μm であるので、上式を適用するには、今後、1 μm 以下にする必要がある。そのためには、光学リソグラフィに代わって、電子ビームリソグラフィ工程が必須である。

(1)式と(2)式では横磁気抵抗比に注目したが、ホール抵抗に注目しても同様の議論が可能である。

### (3) スピン注入用強磁性電極の反平行磁化着磁と磁気電気伝導測定

実際の EXOR ゲートでは、外部磁場を用いることなく、図 2 のように予め、磁化方向の異なる 2 組の強磁性電極を装着し、外部スイッチによって、平行磁化 (P 状態) か反平行磁化 (AP 状態) かの選択をするので、図中最隣接の電極同士は、最初から AP 状態になるように着磁する必要がある。我々は、約 1  $\mu\text{m}$  隔てて隣接する 2 本の TbFeCo 細線の相対磁化方向を局所レーザー加熱によって AP 状態に着磁することに取り組んだ。図 10 に空間的に約 1  $\mu\text{m}$  隔てて近接して成膜した 2 本の TbFeCo 電極の極 Kerr 効果顕微鏡画像のレーザー照射前後の差分画像を示す。レーザー照射した左側の細線のみ黒色で、その周囲部分は灰色になっていることが分かる。これは左側の細線のみ反対方向に磁化し、右側の磁性細線の磁化方向はレーザー照射前後で変化していないことを意味する。このようにして、約 1  $\mu\text{m}$  隔てて隣接する 2 本の TbFeCo 細線における磁化を、面直方向に、互いに反対向きに着磁する技術を確立した。

この着磁技術を HR 及び TMR 測定に応用し、ソースとドレイン電極の磁化が互いに平行な場合と反平行の場合とで HR や TMR にどのような違いが現れるかに注目した。TbFeCo/Cu のホール電圧の磁場依存性を、ソース・ドレインの磁化方向ごとに図 11 に示す。TbFeCo/Cu の 4 電極の 1 つを磁化反転させ、ホール測定を行ったところ、流す経路によってホール電圧に違いが観測された。平行に磁化したソース・ドレイン間に電流を流した場合には直線的な磁場依存性が観測されたのに対して、反平行に磁化したソース・ドレイン間に電流を流した場合はループ的振る舞いが観測された。これらが電気化学ポテンシャルのスピンスplitによる影響かどうかは、今後、調査が必要であるが、これらの現象は磁性電極を用いた EXOR ゲート動作に応用できる。

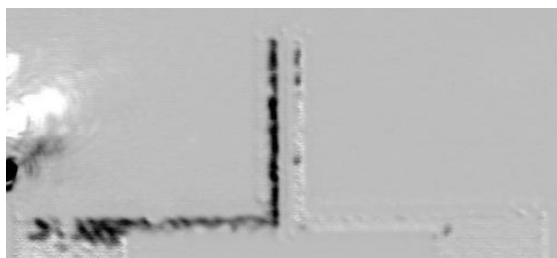


図10: 極 Kerr 効果顕微鏡画像のレーザー照射前後の差分画像

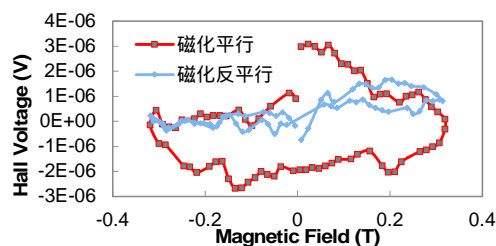


図11: TbFeCo/Cuにおけるホール電圧の電極磁化状態依存性

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 10 件)

M. Sakai, H. Takao, T. Matsunaga, Y. Tanaka, T. Arai, S. Haruyama, T. Otomo, H. Hiram, T. Sakuraba, Z. Honda, K. Higuchi, A. Kitajima, A. Oshima, S. Hasegawa, and H. Awano: "Hall resistivity and transverse magnetoresistivity generated in the simultaneous presence of spin-polarized current and external magnetic field in a nonmagnetic bipolar conductor  $\text{YH}_2$ ", Jpn. J. Appl. Phys., 54, 013001-1 ~ 11 (2015). 10.7567/JJAP.54.0130001 査読有

S. Haruyama, M. Sakai, T. Sakuraba, H. Hiram, Z. Honda, A. Kitajima, K. Higuchi, A. Oshima, and S. Hasegawa: "Optical Assessment of Carrier Effective Mass in  $\text{Gd}_x\text{Y}_{1-x}\text{H}_2$  ( $0 < x < 1$ )", JPS Conf. Proc. 1, 012016-1 ~ 6 (2014). 10.7566/JPSCP.1.012016 査読有

T. Sakuraba, M. Sakai, T. Arai, Y. Tanaka, H. Hiram, Z. Honda, A. Kitajima, K. Higuchi, A. Oshima, and S. Hasegawa: "Hall Effect and Magnetoresistance in  $\text{Gd}_x\text{Y}_{1-x}\text{H}_2$  ( $x < 0.4$ )", JPS Conf. Proc. 1, 012009-1 ~ 6 (2014). 10.7566/JPSCP.1.012009 査読有

T. Sakuraba, H. Hiram, M. Sakai, Z. Honda, M. Hayakawa, T. Okoshi, A. Kitajima, A. Oshima, K. Higuchi, S. Hasegawa: "Crystal growth of magnetic dihydride  $\text{Gd}_x\text{Y}_{1-x}\text{H}_2$  for generation of spin current", J. Crystal Growth 378, 351-355 (2013). 10.1016/j.jcrysgro.2012.12.156 査読有

T. Okoshi, M. Hayakawa, H. Hiram, M. Sakai, K. Higuchi, A. Kitajima, A. Oshima, S. Hasegawa: "Influence of hydrogen incorporation on texture and grain size in  $\text{YH}_2$  films", J. Crystal Growth 378, 388-392 (2013). 10.1016/j.jcrysgro.2012.12.093 査読有

H. Hiram, M. Hayakawa, T. Okoshi, M. Sakai, K. Higuchi, A. Kitajima, A. Oshima, S. Hasegawa: "Enhancement of hydrogen uptake for Y and Gd films by thin Nisurface overlayers", J. Crystal Growth 378, 356-360 (2013). 10.1016/j.jcrysgro.2012.12.175 査読有

M. Sakai, D. Kodama, Y. Okano, T. Sakuraba, Z. Honda, A. Kitajima, A. Oshima, K. Higuchi, S. Hasegawa, O. Nakamura: "Magnetoresistance

generated by combination of spin-orbit interaction and applied magnetic field in bipolar conductors", Jpn. J. Appl. Phys. 52, 093001-1-8 (2013). 10.7567/JJAP.52.093001 査読有

M. Sakai, K. Kakizaki, S. Hasegawa, A. Kitajima, A. Oshima, and H. Awano: "A design of spin polarization analyzer using transverse-longitudinal correlation in resistivities induced by spin-orbit interaction", Jpn. J. Appl. Phys. 52, 013004-1 ~ 7 (2013). 10.7567/JJAP.52.013004 査読有

T. Noshiro, K. Kamishima, K. Kakizaki, N. Hiratuka, M. Sakai, K. Watanabe: "Tunneling magnetoresistance in BaTiO<sub>3</sub>/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> composites", Trans. Mat. Res. Soc. Japan 37[2], 275-278 (2012). 査読有

M. Sakai, D. Kodama, T. Sakuraba, Z. Honda, S. Hasegawa, A. Kitajima, A. Oshima, K. Higuchi, and O. Nakamura: "Negative magnetoresistance generated by combination of spin-orbit interaction and applied magnetic field", Jpn. J. Appl. Phys. 51, 023001-1 ~ 7 (2012). 10.7567/JJAP.51.023001 査読有

#### 〔学会発表〕(計 11 件)

松永智善, 酒井政道, 樋口宏二, 北島 彰, 大島 明博, 長谷川 繁彦: "スカンジウム二水素化物(ScH<sub>2</sub>)の作製とホール効果", 第 6 2 回応用物理学会春季学術講演会, 東海大学、湘南キャンパス、神奈川県、平塚市) 3 月 11 - 14 日 (2014) .

工藤 駆, 酒井政道, 桜庭琢士, 春山翔太, 北島 彰, 大島 明博, 樋口宏二, 長谷川 繁彦: "Gd<sub>x</sub>Y<sub>1-x</sub>H<sub>2</sub>(0 < x < 1)のホール係数及び横磁気抵抗", 第 6 2 回応用物理学会春季学術講演会, 東海大学、湘南キャンパス、神奈川県、平塚市) 3 月 11 - 14 日 (2014) .

酒井政道: "外部磁場中のスピンホール効果に関する古典的運動方程式", 第 6 2 回応用物理学会春季学術講演会, 東海大学、湘南キャンパス、(神奈川県、平塚市) 3 月 11 - 14 日 (2014) .

高尾 啓, 松永智善, 飯笹圭太郎, 西間木 誠, 酒井政道, 樋口宏二, 北島 彰, 大島 明博, 長谷川 繁彦, 兼平冬馬, 栗野博之: "TbFeCo を電極とした YH<sub>2</sub> チャネルの磁気電気伝導特性", 第 6 2 回応用物理学会春季学術講演会, 東海大学、湘南キャンパス、(神奈川県、平塚市) 3 月 11 - 14 日 (2014) .

酒井政道: "スピンポラライザー / アナライザーから構成する排他的論理和ゲート", イノベーション・ジャパン 2014, 東京ビッグサイト、(東京都、江東区) 9 月 11 - 12 日 (2014) .

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: "スピン蓄積を介したスピン軌道相互作用-ローレンツ力間協同効果による横磁気

抵抗: 両極性伝導体 YH<sub>2</sub> の場合", 日本物理学会 2014 年秋季大会中部大学, 春日井キャンパス、(愛知県、春日井市) 9 月 7 - 10 日 (2014) .

酒井政道: "スピンポラライザー / アナライザーから構成する論理演算ゲート", J S T 発 新技術発表会, J S T 東京別館ホール (東京都、千代田区) 2014 年 3 月 6 日 .

桜庭 琢士, 酒井 政道, 本多 善太郎, 平間弘晃, 新井達也, 田中祐輔, 北島 彰, 大島 明博, 樋口 宏二, 長谷川 繁彦: "Gd<sub>x</sub>Y<sub>1-x</sub>H<sub>2</sub> (x = 0.4)におけるホール抵抗と横磁気抵抗の温度依存性", 第 74 回応用物理学会秋季学術講演会 (20130916-20130920), 同志社大学京田辺キャンパス、(京都府、京田辺市) .

酒井 政道, 本多善太郎, 北島 彰, 大島 明博, 長谷川 繁彦: "スピン軌道相互作用とローレンツ力との協同効果による横磁気抵抗およびホール抵抗: 両極性伝導体の場合" 第 74 回応用物理学会秋季学術講演会. (20130916-20130920). 同志社大学京田辺キャンパス、(京都府、京田辺市) .

S. Haruyama, M. Sakai, T. Sakuraba, H. Hiram, Z. Honda, A. Kitajima, K. Higuchi, A. Oshima, and S. Hasegawa: "Optical Assessment of Carrier Effective Mass in Gd<sub>x</sub>Y<sub>1-x</sub>H<sub>2</sub> (0 < x < 1)", The 12th Asia Pacific Physics Conference (20130714-20130719), Makuhari, Japan.

T. Sakuraba, M. Sakai, T. Arai, Y. Tanaka, H. Hiram, Z. Honda, A. Kitajima, K. Higuchi, A. Oshima, and S. Hasegawa: "Hall Effect and Magnetoresistance in Gd<sub>x</sub>Y<sub>1-x</sub>H<sub>2</sub> (x = 0.4)", The 12th Asia Pacific Physics Conference (20130714-20130719), Makuhari, Japan.

#### 〔その他〕

ホームページ等

<http://www.fms.saitama-u.ac.jp/lab/sakai/>

#### 6 . 研究組織

##### (1) 研究代表者

酒井政道 (SAKAI, Masamichi)

埼玉大学大学院理工学研究所・教授

研究者番号: 40192588

##### (2) 研究分担者

長谷川 繁彦 (HASEGAWA, Shigehiko)

大阪大学産業科学研究所・准教授

研究者番号: 50189528

##### (3) 連携研究者

北島 彰 (KITAJIMA, Akira)

大阪大学産業科学研究所・特任助教

研究者番号: 50532248

大島 明博 (OSHIMA, Akihiro)

大阪大学産業科学研究所・特任准教授

研究者番号: 80398924