

平成30年6月25日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K04648

研究課題名(和文) 両極伝導性水素吸蔵体を利用した電荷・スピンの相反型蓄積機能

研究課題名(英文) Reciprocal accumulation of spins and charges in rare earth hydride bipolar conductors

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) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：イットリウム(Y)などの希土類金属と水素(H)との化合物YH₂では、電子の他に正孔も電気伝導に寄与する。正負の電荷の違いの他にアップかダウンかというスピン磁気モーメントの違いも考慮すると、YH₂では電子/正孔電流、電子/正孔スピン流という4種類の流れが発生し得る。本研究は、これら4つの流れが共存する舞台としてHall素子を製作して、ソース電極から正孔電流/スピン流を、ドレイン電極から電子電流/スピン流を、それぞれHall素子のチャンネル部に供給しながら、外部磁場の下、電気およびスピン伝導に注目した研究を行った。その結果、スピン流の自律モードに共鳴したHall効果を初めて観測することに成功した。

研究成果の概要(英文)：We have proposed a new type of the Hall effect, the signal of which is amplified due to the generation of a sustaining mode of spin current. The conditions indispensable for the observation of the effect are (i) the presence of the transverse component of an effective electric field due to spin splitting in chemical potential in addition to the longitudinal component; (ii) the simultaneous presence of holes and electrons each having approximately the same characteristics; (iii) spin-polarized current injection from magnetized electrodes; (iv) the zero transverse current. The present model was experimentally verified by using van der Pauw-type Hall devices consisting of the nonmagnetic bipolar conductor YH₂ and TbFeCo electrodes. Replacing Au electrodes with TbFeCo electrodes alters the Hall resistivity from the ordinary Hall effect to the anomalous Hall-like effect with an enhancement factor of approximately 50 at 4T, consistent with the present model.

研究分野：両極性伝導体を用いたスピントロニクス

キーワード：スピントロニクス スピン軌道相互作用 両極性伝導 水素吸蔵体YH₂ スピン流の自律モード スピン蓄積 電荷蓄積 共鳴ホール効果

1. 研究開始当初の背景

スピン依存伝導がスピントロニクス of 根幹であるのと同様、P型/N型と云う電荷依存伝導は半導体エレクトロニクスの要である。両者の特徴を同時に生かすことは、アップ/ダウンスピン正孔とアップ/ダウン電子からなる4種類のキャリアをどのように制御(生成・注入、蓄積・輸送、操作・検出)するかと云う問題に行き着く。例えば、半導体を用いた磁気バイポーラトランジスタでは、ベース領域の少数キャリアにスピン依存伝導特性が付与されるが、スピン集団にも多数と少数グループがあるため、複雑な動作設計・解析が要求される(I. Žutić and J. Fabian “Bipolar spintronics”, in “Concepts in spin electronics”, Ed. S. Maekawa, Oxford, 2006, pp. 43-92)。また、N型強磁性半導体の製作がP型に比べると困難な為、NPN型磁気バイポーラトランジスタがPNP型のそれに比べると、容易に製造できず、結果的に純粋なCMOS系スピントロニクスが未だ成立していない。

2. 研究の目的(計画調書作成時)

研究代表者が従来から注目してきた、近似的にゼロとみなせるホール係数を有する両極伝導性物質群(RH_2 , R=希土類元素)をスピントロニクス材料に応用する研究である。アップ/ダウンのスピン自由度に、正孔/電子の電荷自由度を加えることによって、スピン蓄積機能と電荷蓄積機能の両者を一体化して、トータル4タイプのスピンおよび電荷蓄積モードを創出する。ポイントは、(1)正孔スピンと電子スピンの向きが互いに平行になる分極状態と反平行になる分極状態を、強磁性電極を通じてつくること、(2)スピン軌道相互作用のタイプをスキュー散乱型とサイドジャンプ型間で転換できること、そして、(3)電荷蓄積とスピン蓄積の仕方の違いによる4モードを独立に発現するホール素子を製作し、その性質を排他的論理とゲートの製作に発展させることである。

3. 研究の方法

(1) ホール素子チャンネル材料の高純度化
チャンネル材料はイットリウム(Y)とスカンジウム(Sc)である。これらの市販金属塊の純度は3Nであるため、不純物の除去が必要である。予備研究の段階で約1000で加熱すると、フッ素(F)が優先的に蒸発してくることが分かっていたので、Fの除去に取り組んだ。Arガス雰囲気中でアーク溶解・凝固・表面研磨の工程を3回繰り返した。

(2) チャンネル材料の水素化プロセス
YとScを水素と反応させてそれぞれ YH_2 及び ScH_2 にする必要があるが、回路パターン製作にレジストを使うフォトリソグラフィー工程は100以上にするわけには行かない。また、これら希土類は非常に酸化されやすいので、蒸着後の表面を保護する必要がある。100以下の低温でも水素化反応を促進させ、

且つ、酸化防止のため、Pdを使用した。

(3) ホール素子製作

2種類の形状のホール素子をフォトリソグラフィ技術によって製作した。van der Pauw型とHall bar型である。前者は図1に示すように、チャンネル領域は $35\mu\text{m} \times 35\mu\text{m}$ の正方形であり、4隅に電極が接続される。Siウェハ上に SiO_2 をスパッタ法で成膜し、下地にCrを10nm、電極にフェリ磁性体TbFeCo(組成比Tb:Fe:Fe=26:66:8)を128nm厚、チャンネル下地にTiを10nm、チャンネル部にYを400nm、保護膜としてPdを20nm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、 YH_2 チャンネル層を形成する。この工程ではTbFeCo電極成膜とYチャンネル成膜の間にTi成膜工程が入っているが、Ti成膜工程を入れない素子も製作した。比較のために、TbFeCo電極の代わりにAu電極を使用したホール素子も製作した。図2には、幅 $20\mu\text{m}$ 、長さ $90\mu\text{m}$ のHall-bar型を示す。

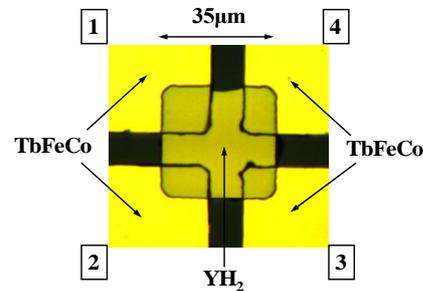


図1 製作した van der Pauw 型ホール素子の光学顕微鏡写真

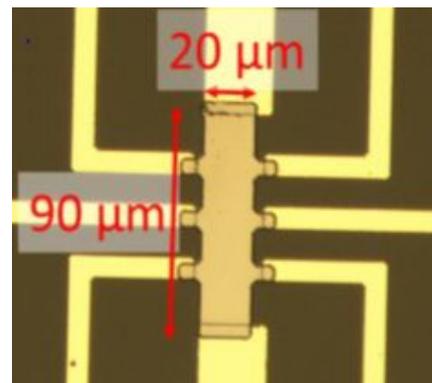


図2 製作した Hall-bar 型ホール素子の光学顕微鏡写真

(4) Hall 効果測定

ホール抵抗及び横磁気抵抗の測定は室温にて $-5\text{T} \sim 5\text{T}$ の磁場を膜面に対して垂直に印加した状態で、 $50\mu\text{A}$ 以下、480 Hzの交流電流をホール素子に流し、電流方向と交差する電極間の電位差を位相検波法で計測した。

(5) Hall 効果の定式化と測定結果の解析

測定結果を解釈するにあたって、研究代表者が従来から取り組んできたホール抵抗の表式化をより一般化して行った。従来は、バイアス電流方向のスピン分裂だけを考慮して

いたが、本研究では、バイアス電流方向に対して垂直方向のスピンスプリットも考慮した。

両極性伝導体の正孔および電子が共に、スピンスプリットした場合のホール抵抗および磁気抵抗の表式をスピンスプリット相互作用、外部磁場、キャリアスピンスプリットを考慮して解析的に導出した。ただし、正孔濃度と電子濃度の差を電荷分極度でパラメータ化して、 ρ_{yx} について第0次近似（正孔濃度 = 電子濃度）および第1次近似の下で計算を行った。測定結果の解析には後者の表式を用いた。

4. 研究成果

(1) ホール素子チャンネル材料の高純度化
市販品の Y には約 260 wt ppm の F が混入していたが、先述 3-(1) の処理によって、それを 3.5 wt % に減少することに成功した。

(2) チャンネル材料の水素化プロセス
20 nm の Pd を Y 表面に成膜した面を、室温の 3% H₂-97% Ar の大気圧混合ガスに約 15 分間晒すことによって、100% の YH₂ 相に変化することが分かった。その結晶は (100) 配向している。

(3) ホール素子製作
完成した素子の光学顕微鏡写真を、図 1 および図 2 に示したとおりである。

(4) Hall 効果測定
van der Pauw 型ホール素子を用い典型的な測定結果を図 3 に示す。

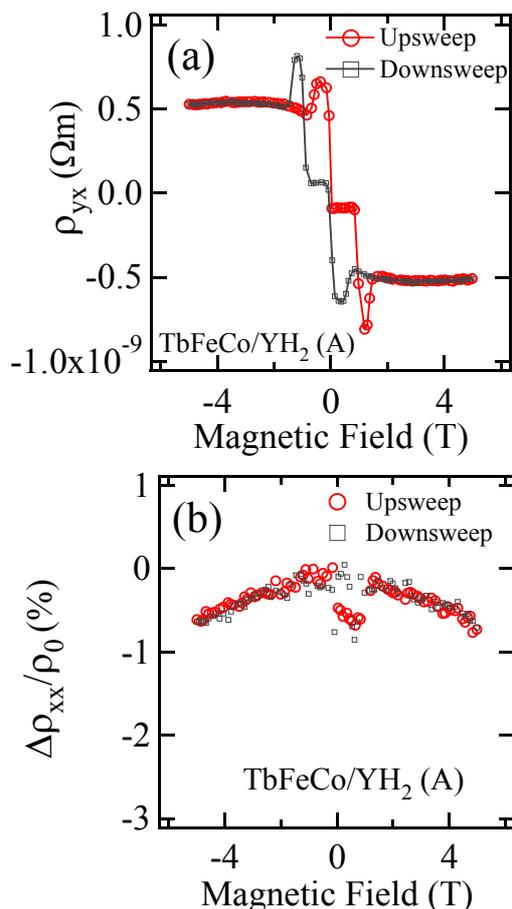


図 3 van der Pauw 型ホール素子（電極が TbFeCo、チャンネルが YH₂）における室温ホール抵抗(a)および横磁気抵抗(b)の磁場依存性

チャンネルを YH₂ の代わりに ScH₂ にした場合の測定結果を図 4 に示す。

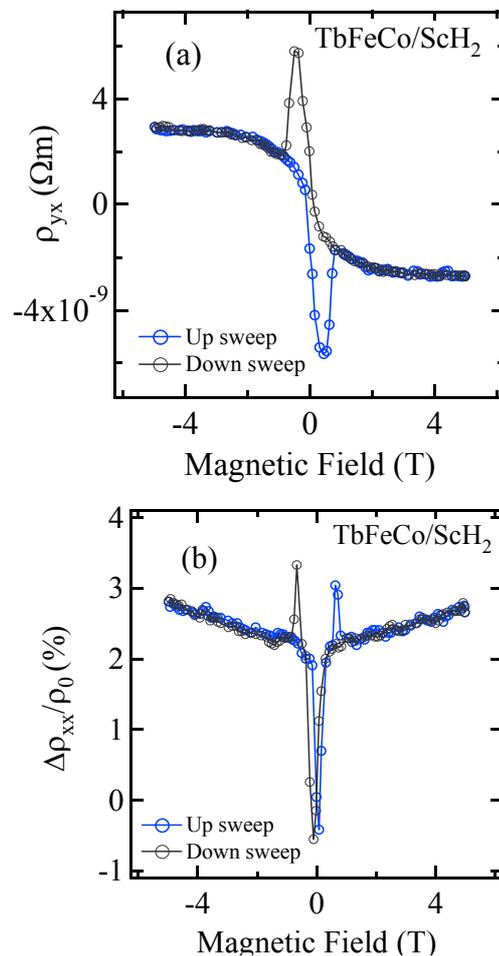


図 4 van der Pauw 型ホール素子（電極が TbFeCo、チャンネルが ScH₂）における室温ホール抵抗(a)および横磁気抵抗(b)の磁場依存性

図 3 および 4 は、共に電極がフェリ磁性体 TbFeCo であるが、電極を非磁性体 Au にしたときの YH₂ の測定結果を図 5 に示す。ホール係数は $5 \times 10^{-12} \text{ m}^3/\text{C}$ と極めて小さい。横磁気抵抗も殆ど発生しない。ScH₂ でも同様である。このことから、図 3 および 4 の結果は、フェリ磁性体 TbFeCo 電極からのスピンスプリットによって、YH₂ の電子および正孔集団にスピンスプリットが発生することを意味している。

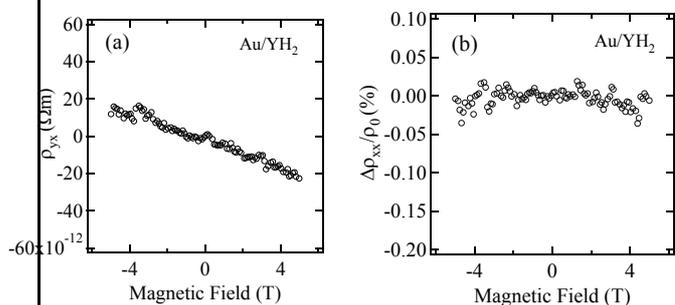


図 5 van der Pauw 型ホール素子（電極が Au、チャンネルが YH₂）における室温ホール抵抗(a)および横磁気抵抗(b)の磁場依存性

(5) Hall 効果の定式化と測定結果の解析

定式化を従来に比べてより一般的に遂行したことによって、(i) 両極性伝導体では電流を注入せずとも、自律的にスピンの流が発生し得ること、(ii) その発生条件がホール効果の電流境界条件と一致することによって、本来、小さい値であるはずのホール抵抗が数 100 倍増強されること、(iii) ホール電場方向にスピン流が流れるか流れないかと云う境界条件に応じて、正常ホール効果と異常ホール効果とのカップリングが生成・消滅すること、(iv) 単極性伝導体では、(ii) のような現象は発生しないこと、などを理論的に見出した。これらの理論的知見は本研究がはじめてである。

さらに、大きな収穫は、上記の理論計算によって、図 3 および図 4 の測定結果を定量的に説明できる点である。そのシナリオは以下のとおりである。正孔と電子のキャラクターに全く同じならば、電極材料の磁性の有無に無関係にホール抵抗は完全に消失する。一方、磁性電極 TbFeCo からスピン偏極正孔/電子電流が注入されると、バイアス電流方向における正孔スピン流と電子スピン流との僅かな差が、スピン軌道相互作用を通じて、比較的大きな電荷蓄積に変換される。この増大現象は、スピンの自律モードの発生要件(ある種の永年方程式の解)がホール効果測定の電流境界条件(横方向電流がゼロ)と一致することが原因であり、我々はこれを共鳴と呼んでいる。計算によると、共鳴による増幅度は、電荷偏極度 にほぼ反比例する。図 3 の測定結果は、 $\rho_{xx} = 0.15\%$ として回帰分析できるので、増幅度は約 670 倍である。

計算結果から、スピンの自律モードは、内部電場に対して垂直方向に発生することが分かっている。ホール電場が小さいうちは、スピンの自律モードはほぼホール電場の方向に発生し、その方向にスピン蓄積が生じる。これが計画調書作成時に指摘したスピン蓄積モード(モード)に対応する。何らかの理由で、ソース電極から注入される正孔スピン流とドレイン電極から注入される電子スピン流の大きさに差が生じると、ホール抵抗が大きくなるので、計画調書で指摘したスピン蓄積と電荷蓄積が両立したモード(モード)に以降し、さらに注入される正孔および電子スピン流の大きさに差が開くと、スピン蓄積より電荷蓄積が優勢になる(モード)。このモード から への転換、モード から への転換には、計画調書作成時には、スピン軌道相互作用の符号の反転を必要としていたが、理論計算で分かったことは、その符号の反転が無くて各モード間の転換ができると云う点である。

両極性伝導体の異常ホール効果が、スピンの自律モードと共鳴して増幅されることは、計画調書作成時には全く予想できておらず、本研究の遂行中に、図らずも見出された概念・考え方である。この共鳴モデルによる

計算では、スピン拡散長がホール素子のソース・ドレイン間距離と同程度であることを仮定している。この仮定にもとづいた計算が、測定結果を説明できるという事は、実験に使用した YH₂ のスピン拡散長が 10 μm 程度であることを意味する。この値は、典型的な非磁性金属のスピン拡散長の 10 倍以上大きい。したがって、YH₂ のスピン流は散逸しにくいことが分かる。スピンの自律モードと関係しているかもしれない。その原因をエントロピー生成の観点から調べることは興味深い問題である。

【残った問題】電荷蓄積もスピン蓄積もない状態(モード)が未だ作り出せていない。理由は、ソース電極磁化とドレイン電極磁化の向きを反平行配置にする実験が未完成であるからである。しかし、準備は整えることは出来た。図 2 は、磁化反転実験用のホール素子である。これは、図 1 と異なり、ホール素子を石英ガラス基板上に製作したので、石英ガラス越しに磁化反転させたい TbFeCo 電極だけ(例えばドレイン電極)にレーザー光を照射加熱し、キュリー点(約 200)以上にして、保磁力以下の外部磁場を印加することで、ソース電極磁化方向と反平行化配置にすることができる。

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 7 件)

Masamichi Sakai, Hiraku Takao, Tomoyoshi Matsunaga, Makoto Nishimagi, Keitaro Iizasa, Takahito Sakuraba, Koji Higuchi, Akira Kitajima, Shigehiko Hasegawa, Osamu Nakamura, Yuichiro Kurokawa, and Hiroyuki Awano, Resonant Hall effect under generation of a self-sustaining mode of spin current in nonmagnetic bipolar conductors with identical characters between holes and electrons, Japanese Journal of Applied Physics, 57 (2018) 33001-1 ~ 13. 10.7567/JJAP.57.033001

Kosuke Yabuki, Hiroaki Hiram, Nobuhiko Aoki, Masamichi Sakai, Yoshiaki Saito, Koich Higuchi, Akira Kitajima, Shigehiko Hasegawa, Osamu Nakamura, Fabrication of YH₃ thin film using Pd/Ni co-capping layer: Ni thickness effect, Journal of Crystal Growth, 468 (2017) 714-717. 10.1016/j.jcrysgro.2016.10.001

Ayato Takenouchi, Takashi Otomo, Kota Niwa, Masamichi Sakai, Yoshiaki Saito, Tomoyuki Kirigane, Masashi Kosaka, Shigehiko Hasegawa, Osamu Nakamura, Purification of commercial yttrium metal: Removal of fluorine, Journal of Crystal Growth, 468 (2017) 701-704. 10.1016/j.jcrysgro.2016.11.091

Masamichi Sakai, AIP ADVANCES, 6 (2016) 65220-1 ~ 12. 10.1063/1.4954808
Kosuke Yabuki, Hiroaki Hiram, Masamichi Sakai, Yoshiaki Saito, Koichi Higuchi, Akira Kitajima, Shigehiko Hasegawa, Osamu Nakamura, Low-temperature and low-H2 pressure synthesis of hydride semiconductor YH₃-doping Pd/Ni co-capped Y films, Thin Solid Films, 624 (2016) 175-180. 10.1016/j.tsf.2017.01.025

[学会発表](計 24 件)

酒井政道, 相反性の破れたスピンホール効果: 両極性伝導体の場合, 日本物理学会第 75 回年次大会 (2018 年).

坂井琢磨, 佐藤 枢, 三上亮太, 菅沼奈央, 秋里宗次郎, 酒井政道, 花尻達郎, 中島義賢, 徳田正秀, 藤井泰彦, 中村修, Pt 触媒を用いた低濃度水素による Y の完全三水素化, 第 65 回応用物理学会春季学術講演会 (2018 年).

吉澤 輝, 酒井政道, 本多善太郎, 中村修, Pt 触媒を用いて作製した水素吸蔵体 YbH₂ の光学特性評価, 第 65 回応用物理学会春季学術講演会 (2018 年).

菅沼奈央, 佐藤 枢, 秋里宗次郎, 三上亮太, 高橋侑太郎, 芦沢優吾, 酒井政道, 中村 修, 花尻達郎, 中島義賢, 徳田正秀, 藤井泰彦, Pt 触媒を用いて作製した半導体相 YH₃ のホール効果, 第 65 回応用物理学会春季学術講演会 (2018 年).
Aktor MST Sanjida, 酒井政道, 中村 修, 長谷川繁彦, 両極性伝導体の電荷・スピン輸送によるエントロピー生成, 第 65 回応用物理学会春季学術講演会 (2018 年).

酒井政道, 長谷川繁彦, 中村 修, 黒川雄一郎, 粟野博之, スピン流の自律モード発生によるホール抵抗の共鳴的増大, 日本磁気学会第 34 回 MSJ 光機能デバイス・材料専門研究会 (2017 年).

酒井政道, 高尾 啓, 松永智善, 西間木誠, 飯笹圭太郎, 桜庭琢士, 樋口宏二, 北島 彰, 長谷川繁彦, 黒川雄一郎, 粟野博之, 両極性非磁性伝導体 RH₂ (R=Y, Sc) におけるスピン流の自律モード発生によるホール抵抗の共鳴的増大, 日本物理学会 2017 年秋季大会 (2017 年).

酒井政道, 高尾 啓, 松永智善, 西間木誠, 飯笹圭太郎, 樋口宏二, 北島 彰, 長谷川繁彦, 黒川雄一郎, 粟野博之, 非磁性両極性伝導体におけるスピン流モードの自律発生と ホール抵抗の共鳴的増大, 第 72 回日本物理学会年次大会 (2017 年).

酒井政道, 両極性非磁性伝導体におけるスピン流モードの自律発生と ホール抵抗の共鳴的増大, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会 (2017 年).

吉澤 輝, 酒井政道, 矢吹康佑, 竹之内郁

人, 中村 修, 長谷川繁彦, 水素吸蔵体 YbH_x (2<x<2.7) の作製, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会 (2017 年).

佐藤枢, 西間木 誠, 飯笹圭太郎, 酒井政道, 樋口宏二, 北島 彰, 大島明博, 長谷川繁彦, 黒川雄一郎, 粟野博之, 強磁性体 TbFeCo を電極に用いた両極性伝導体 ScH₂ の直流ホール効果測定, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会 (2017 年).

坂井琢磨, 竹之内郁人, 酒井政道, 樋口宏二, 北島 彰, 長谷川繁彦, 中村 修, 分子線蒸着法による Gd 薄膜の作製と大気非接触水素化, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会 (2017 年).

Makoto Nishimagi, Tomoyoshi Matsunaga, Masamichi Sakai, Keitaro Iizasa, Takahito, Koichi Higuchi, Akira Kitajima, Shigehiko Hasegawa, Osamu Nakamura, The 18th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy, 8/11/2016.

Kosuke Yabuki, Hiroaki Hiram, Nobuhiko Aoki, Masamichi Sakai, Yoshiaki Saito, Koichi Higuchi, Akira Kitajima, Shigehiko Hasegawa, Osamu Nakamura, The 18th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy, 8/9/2016.

Ayato Takenouchi, Takashi Otomo, Kota Niwa, Masamichi Sakai, Yoshiaki Saito, Tomoyuki Kirigane, Masashi Kosaka, Shigehiko Hasegawa, Osamu Nakamura, Purification of commercial yttrium metal: Removal of fluorine, The 18th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy, 8/11/2016.

酒井政道, 異常ホール効果が誘起する巨視的電場の伝播方程式, 第 63 回応用物理学会春季学術講演会, 19p-P1-38 (2016 年).

矢吹康佑, 青木信彦, 酒井政道, 松永智善, 飯笹圭太郎, 樋口宏二, 北島彰, 長谷川繁彦, 中村 修, 低濃度水素を用いた Pd/Ni 二層触媒付き Y 薄膜の水素化とそのギブス自由エネルギー評価, 第 63 回応用物理学会春季学術講演会, 20p-S323-4 (2016 年).

竹之内郁人, 坂井琢磨, 酒井政道, 樋口宏二, 北島 彰, 長谷川繁彦, 中村 修, 分子線蒸着法による GdH₂ 薄膜の作製, 第 63 回応用物理学会春季学術講演会, 19p-P10-6 (2016 年).

西間木 誠, 高尾 啓, 松永智善, 飯笹圭太郎, 酒井政道, 樋口宏二, 北島 彰, 大島明博, 長谷川繁彦, 黒川雄一郎, 粟野博之, TbFeCo/RH₂ (R=Y, Sc) のスピン注入時における磁気電気伝導特性評価, 第 63 回応用物理学会春季学術講演会, 19p-P1-35 (2016 年).

酒井政道, 外部磁場中のスピンホール効果 (異常ホール効果) が誘起する巨視的

電場・電流の空間分布と運動, 2015 年日本物理学会秋季大会 17pCG-5.

- ⑲ 酒井政道, 外部磁場中の異常ホール効果が誘起する巨視的電場の伝播方程式, 第 76 回応用物理学会秋季学術講演会, 13p-PA1-9 (2015 年).
- ⑳ 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, 粟野博之, TbFeCo/YH₂ の実験的磁気電気伝導特性に対する回帰分析, 第 76 回応用物理学会秋季学術講演会, 13p-PA1-7 (2015 年).
- ㉑ 飯笹圭太郎, 西間木 誠, 高尾 啓, 松永智善, 酒井政道, 樋口宏二, 北島 彰, 大島明博, 長谷川繁彦, 兼平冬馬, 粟野博之, TbFeCo を電極とした Au 及び Cu チャネルの磁気電気伝導特性, 第 76 回応用物理学会秋季学術講演会, 13p-PA1-10 (2015 年).
- ㉒ Osamu Nakamura, Masamichi Sakai, Kazuyuki Matsubayashi, Yoshiya Uwatoko, Crystal field superstoichiometric samarium dihydride (SmH_{2+δ}), 20 th International Conference on Magnetism (Barcelona, Spain), 2015 年 7 月 7 日.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称: 希土類水素化物の製造方法、水素センサー及び薄膜トランジスタ

発明者: 中村 修, 酒井政道, 坂井琢磨, 吉澤輝, 花尻達郎, 中島義賢

権利者: 中村 修, 酒井政道, 坂井琢磨, 吉澤輝, 花尻達郎, 中島義賢, 徳田正秀, 藤井泰彦

種類: 特許

番号: 2017-220273

出願年月日: 2017 年

国内外の別: 国内

取得状況 (計 1 件)

名称: スピン偏極度測定方法及び測定データ、並びにこれを用いた論理演算ゲート及び信号暗号化復元化方法

発明者: 酒井政道, 長谷川繁彦, 北島 彰, 大島明博

権利者: 酒井政道, 長谷川繁彦, 北島 彰, 大島明博

種類: 特許

番号: 第 5880937 号

取得年月日: 2016 年 2 月 12 日

国内外の別: 国内

〔その他〕

酒井政道, 二つの流れ, 埼玉新聞 5/24/2017.

酒井政道, イノベーションジャパン 2016, 従来の半導体と異なる技術を利用した不揮発型論理ゲート JST 大学見本市ゾーン, 情報通信 I-08, JP-05B2.

酒井政道, スピントロニクス装置及び論理演算子, 埼玉大学産学官連携協議会ニュースレター第 42 巻 (2015 年).

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・理工学研究科・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

粟野 博之 (AWANO, Hiroyuki)

豊田工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

教授

研究者番号: 40571675

(4) 研究協力者

黒川 雄一郎 (KUROKAWA, Yuichiro)

北島 彰 (KITAJIMA, Akira)

樋口 宏二 (HIGUCHI, Koji)

中村 修 (NAKAMURA, Osamu)

花尻 達郎 (HANAJIRI, Tatsuro)

中島 義賢 (NAKAJIMA, Yoshikata)

徳田 正秀 (TOKUDA, Masahide)

藤井 泰彦 (FUJII, Yasuhiko)