

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年3月31日現在

機関番号：11301  
 研究種目：基盤研究（B）  
 研究期間：2010～2012  
 課題番号：22360002  
 研究課題名（和文） ホイスラー合金ソース・ドレイン構造を用いた Si チャネルを介した磁気抵抗効果  
 研究課題名（英文） Magnetoresistance through Si channel using Heusler alloy source and drain electrodes  
 研究代表者  
 手束 展規 (Nobuki Tezuka)  
 東北大学・大学院工学研究科・准教授  
 研究者番号：40323076

## 研究成果の概要（和文）：

Si 半導体への高効率スピン注入に関する知見を得た。スピン注入・検出を行う電極（ソース・ドレイン）に高スピン分極率を有するホイスラー合金を利用することで、高いスピン注入効率を得ることができた。これは、Si 基板の上に、MgO 絶縁体、Co 基ホイスラー合金を高配向で成膜できたことによる。また、CoFe 電極を用いた素子の結果より、スピン蓄積効果と CoFe のバンド構造が、スピン注入効率に大きな影響を与えていることが明らかとなった。

## 研究成果の概要（英文）：

Spin injection from ferromagnetic electrode to Si semiconductor was investigated. The electrodes of Heusler electrodes which possess high spin polarization bring high spin injection efficiency. This comes from the success of the fabrication of highly oriented MgO and Co based Heusler alloy layer on Si substrates. Spin injection efficiency is great influenced by spin accumulation effect and band structure of CoFe from the results for the Si/MgO/CoFe junctions.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	5,700,000	1,710,000	7,410,000
2011 年度	4,500,000	1,350,000	5,850,000
2012 年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
年度			
年度			
総計	14,600,000	4,380,000	18,980,000

研究分野：総合理工

科研費の分科・細目：応用物理・応用物性

キーワード：スピントロニクス、スピン注入、半導体、ホイスラー合金、磁気抵抗効果

## 1. 研究開始当初の背景

CMOS トランジスタの微細化で高性能化（低消費電力/高速動作）を推進してきたシリコン集積回路は、今まさにスケーリング則の物理的限界に直面しつつある。従って、CMOS を機軸とした高度情報通信機器・携帯端末・デジタル家電等では、トランジスタの高密度集

積や高速動作化に伴い、消費電力の増大が大きな問題となっている。半導体トランジスタでは、電源を切ると情報を失う揮発特性が一般的であるから、電子機器の待機電力（全体の消費電力の約 10%）は増大する一方である。即ち、高度情報ユビキタス社会の中心を担う、新たな動作原理に立脚した、低消費電力駆動

で且つ不揮発性機能を有する超低消費電力トランジスタの創製が希求されている。

その有力候補が、菅原(東京工業大学)らにより提案 [Appl. Phys. Lett. 84, 2307(2004)] された、電子の有するスピン機能を活用したスピン MOSFET である。しかし、強磁性体で形成したソース電極からショットキー障壁を介して Si などの半導体チャネルにスピンを注入することは極めて困難であり、提案以来その研究開発は足踏み状態にあった。

最近、研究代表者は、ホイスラー合金  $\text{Co}_2\text{Fe}(\text{Al}, \text{Si})$  において MBE 成長技術を用いることで、室温で世界最大値である  $\text{MR}=386\%$  (スピン偏極率  $P=0.81$ ) [Appl. Phys. Lett. 94, 162504 (2009)] を実現することに成功するとともに、研究分担者は、ホイスラー合金を用い Si へのスピン注入に成功した [IEDM 2009. ]。この Si へのスピン注入は、非局所信号という特殊電極配置でのスピン依存伝導に加え、実際のスピン MOSFET の電極配置である『ソース電極(強磁性体)から Si チャネルを介してドレイン電極(強磁性体)間でのスピン依存伝導(局所信号)] を観測したものである。これらは、それぞれ当時、世界初のデータであり、スピン MOSFET の実現に拍車をかける画期的な研究成果である。

しかし、研究開始当時は、スピン信号はスピン緩和のため約 150K で消失し、室温での半導体を介したスピン依存伝導観測が望まれていた。『室温でのスピン依存伝導観測』のためには、半導体上での高スピン偏極率材料の作製技術と強磁性体/半導体界面制御技術の確立が必須となる。半導体へのスピン注入効率を高めるためには、スピン注入源のスピン偏極率をできるだけ 1 に近づけること(ハーフメタル材料を開発すること)、強磁性体/半導体界面のスピン散乱を無くすことが不可欠だからである。

## 2. 研究の目的

スピン MOSFET を実現する要素技術を確立する。研究開発のポイントは、(1) 半導体基板上に於ける高スピン偏極率材料の作製技術を開発し、スピン偏極率の高い電極(ソース・ドレイン)を形成する事、(2) スピン反射効果の無視できるハーフメタル/Si 界面制御技術を開発する事、(3) トンネル型スピン注入効率を飛躍的に増大すると共に、スピン走行距離の短い極微デバイスを試作し、室温

スピン注入・検出を実現する事の 3 点である。これらの詳細に関して以下に示す。

(1) 高スピン偏極率を有するソース・ドレイン材(ホイスラー合金)の開発を行う。

(2) ホイスラー合金/Si 界面制御技術の開発を行い、その際、界面に  $\text{MgO}$  などの絶縁障壁の挿入も試みるが、その絶縁層を極薄で平坦にできる作製条件を見出す。これらの構造解析と電気伝導特性を調べ、界面の状態と電気伝導の関係を明らかにする。

(3) 磁気抵抗効果測定(スピン注入・検出)を行う。

これらの実験を通じて、スピンドバイスの実現に向けた要素技術の開発を行なうとともに、学術的には、Si 半導体へのスピン注入効率、Si 半導体中のスピン拡散、蓄積などの解明や Si チャネルスピン MOSFET の実現に貢献する。

## 3. 研究の方法

(1) 高スピン偏極率を有するソース・ドレイン材の開発

Si 基板上に Co 基ホイスラー合金を電極とする強磁性トンネル接合を作製する。Si 基板上に作製した  $\text{Co}_2\text{Fe}(\text{Al}, \text{Si})$  ホイスラー合金(以下 CFAS) について、結晶配向性・規則度・飽和磁化から高スピン分極率材料としての可能性を探る。

(2) ホイスラー合金/Si 界面制御技術の開発

Si 上の CFAS また、Si 上に  $\text{MgO}$  膜を (001) 配向した膜の作製条件を見出し、その上に CFAS の高配高膜を得る。 $\text{MgO}$  膜厚により、配向度がどのように変化するか調べる。

Si 上の CFAS もしくは  $\text{MgO}/\text{CFAS}$  の構造解析は、X 線構造解析および断面 TEM 観察により行う。電流-電圧特性およびそれらの温度依存性の解析から、界面状態を調べ、界面抵抗などに関する情報(界面近傍でのバンド状態)を得、スピン注入効率への影響を明らかにする。

(3) Si チャネルを介した磁気抵抗素子の試作

Si チャネルを有する磁気抵抗素子を作製し、その磁気抵抗効果を測定する。CFAS 熱処理温度、 $\text{MgO}$  作製条件、のスピン注入効率への影響などを明らかにする。

## 4. 研究成果

(1) 高スピン偏極率を有するソース・ドレイン材の開発

Si 基板上に様々な成膜方法・多層膜構造・熱処理条件で CFAS を作製し、その結晶構造および磁気特性の評価を行った。Si 基板上に直接作製した CFAS 薄膜においては、Si 原子が CFAS 中に拡散し、CFAS は結晶化していなかった。Si と CFAS の界面では Si 化合物が生

成している可能性が高く、スピン注入に不適な構造となっていた。

Si 基板との界面に MgO 層および Mg/MgO 層を挿入した CFAS 薄膜においては、B2 規則構造に結晶化した CFAS を作製することができた。TEM 観察の結果から、MgO はアモルファス、CFAS は B2 構造の多結晶であった。

MBE を用いて作製した Si 基板との界面に Mg/MgO 層を挿入した CFAS 薄膜においては、(001)配向した Mg/MgO/CFAS 多層膜を作製することができた。

(2) ホイスラー合金/Si 界面制御技術の開発

CFAS/MgO/n-Si および CFAS/MgO/Mg/n-Si 接合を作製し、スピン注入検出を行った。また、成膜方法や接合の構造、熱処理条件が電気伝導特性やスピン注入に与える影響について調査した。

CFAS から Si 中へのスピン注入の検出に成功した。特に、MBE で作製した As-depo. の CFAS/MgO/Mg/n-Si 接合において、300 K でスピン注入 0.93 を得た。

ヘリコンスパッタ装置で作製した CFAS/MgO/n-Si 接合では PA 300°C で抵抗値が増加した。一方、CFAS/MgO/Mg/n-Si 接合では 300°C での PA を行っても抵抗値はほぼ一定であった。Mg 層の挿入が Si sub. 表面における酸化を防いだ結果であると考えられる。

Mg 層の有無によりスピニングナルの大きさに差があった。Mg 層の挿入により Si 基板表面における酸化の進行およびスピン分極率の低下を抑制できたためと考えられる。

熱処理温度の上昇に伴ってスピニングナルは小さくなった。熱処理による Si 基板表面における酸化の進行、および、MgO 障壁の劣化がスピン注入効率低下の原因であると考えられる。MBE で作製した試料においては、コヒーレントトンネリングの影響により、高いスピン分極率を持つトンネル電流が得られた可能性がある。

(3) Si チャンネルを介した磁気抵抗素子の試作

Si/MgO/CoFe による Si チャンネルを介した磁気抵抗素子の試作を行った。

断面 TEM 像の結果から MgO を Si (100) 上に直接成膜した際は MgO (110) が成長する箇所が多く観測された。MgO/CoFe の主な成長方位の関係は、Si (100)/MgO (110)/CoFe (100) である多結晶構造となっていた。一方、Mg (0.6 nm) を Si 基板と MgO の界面に挿入した試料では、Si (100) 上に MgO (100)/CoFe (100) をエピタキシャル成長することに成功した。膜面内の成長方位関係は、Si (100) <110>/MgO (100) <110>/CoFe (100) <100> であった。Si (100) 上で MgO (100)/CoFe (100) が成長できると、 $\Delta_1$  電子を介したスピントラップ効果が期待できる。この点からも、Si (100) 上で MgO (100)

成長に成功したことは興味深い。

4.2 K で測定した非局所磁気抵抗測定の結果と異方性磁気抵抗効果 (AMR) の測定を行った。AMR で磁性電極の磁化の方向が反平行を示す磁場領域において、明瞭な非局所信号の電圧変化が観測された。次に、4 端子ハンル信号の結果について述べる。強磁性体の電極の磁化の向きが反平行の場合と平行の場合について、測定を行った。得られた結果をフィッティングすることにより、スピン緩和時間 ( $\tau$ ) はそれぞれ、 $\tau = 9.7 \text{ sec}$ ,  $9.5 \text{ sec}$  と求まり、Si 中では、スピンが緩和するまでにかかなり長い時間を要することが明らかになった。これは、応用上好ましい特性である。

3 端子ハンル信号は、スピン緩和時間が異なる 2 種類の信号が観測された。一般に、4 端子ハンル信号と同じ起源の信号が Si バルクの伝導バンド中のスピン信号と信じられているため、4 端子ハンル信号と同程度の長いスピン緩和時間を有する信号が本質的な信号であると考えられる。したがって、長い緩和時間の信号を詳細に調べることとした。室温 (300 K) で測定したハンル曲線をローレンツ曲線でフィッティングした結果、スピン緩和時間  $\tau = 1.4 \text{ nsec}$  と求まり、Si の拡散係数  $D = 2.4 \text{ cm}^2/\text{sec}$  を用いるとスピン拡散長  $\lambda$  は  $\lambda = 0.6 \text{ } \mu\text{m}$  (600 nm) と求まる。この値は、現在の MOS のチャンネル長が約 20 nm 世代になりつつあることを考慮すると、室温でも十分に長いことが明らかになった。

次に 3 端子ハンル信号強度 ( $\Delta V$ ) の界面抵抗 ( $r_b^*$ ) 依存性について述べる。 $\Delta V$  は  $r_b^*$  の増大とともに指数的に増大することが明らかとなった。 $\Delta V$  は以下の式で表すことができ、電流  $I$  の関数となっているため、 $\Delta V$  測定時の電流量は、全ての素子で 10 mA と一定とした。

$$\Delta V \propto P_{Si}^2 \rho_{Si} \lambda_{Si} I / 2A \quad (1)$$

ここで、 $P_{Si}$  は Si 中のスピン偏極率、 $\lambda_{Si}$ ,  $\rho_{Si}$   $A$  はそれぞれ、スピン拡散長、Si の比抵抗、磁性体の接合面積である。 $\Delta V$  と  $r_b^*$  の関係は 20 K ~ 300 K までの全ての温度範囲で、同様の規則にしたがっていた。今、Si は金属的な不純物ドーピング領域であるため、 $\rho_{Si}$  は温度によりほぼ一定値である。界面抵抗に  $\lambda_{Si}$  は依存しないこと、 $I, A$  は一定であることを考えると、Si 中のスピン蓄積量が、界面抵抗の増大に伴って増大していることを意味している。

次に 3 端子ハンル測定で求めた Si 中でのスピン蓄積信号 ( $\Delta V$ ) のバイアス電圧依存性を示す。試料として不純物濃度が異なる ( $2 \times 10^{19}$ ,  $2.2 \times 10^{19}$ ,  $2.6 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ) 3 種の試料により調べた。先に述べたように、界面抵抗にスピン蓄積信号は大きく依存することが分かったので、なるべく同じ界面抵抗を有する試料を選択して測定を行った。つまり、不純物濃度が濃い試料は、MgO 膜厚が厚くなっ

ている。この結果、スピン蓄積信号強度は界面抵抗のみに依存するわけではなく、不純物濃度にも依存することが明らかになった。また、スピンの注入側のバイアス印加方向では、信号が観測されず、スピン引き抜き側の電圧印加方向で、スピン蓄積信号が観測された。スピン引き抜き側の電圧では、約 500 mV 以上の電圧で急激にスピン蓄積信号が増大している。 $\Delta V/I$  をバイアス電圧に対してプロットした結果、1V 以下のバイアス電圧では電圧増大に伴って  $\Delta V/I$  は増大することが明らかになった。これは、(1) 式を考慮するとスピン偏極率  $P_{Si}$  が増大していることを意味している。(1) 式で  $P_{Si}$  と  $\lambda_{Si}$  が変化している可能性があるが、スピン引き抜き側の電圧では  $\lambda_{Si}$  は電圧増大に伴って減少するバイアス印加方向である。したがって、観測された  $\Delta V/I$  のバイアス電圧に伴う増大は、スピン偏極率  $P_{Si}$  の増大を意味している。

上記 2 種の実験結果を説明するためには、スピン蓄積効果と bcc-CoFe のバンドの効果の①両方が、界面抵抗の増大およびバイアス電圧の増大に伴う  $\Delta V$  の増大に寄与している、もしくは、②スピン蓄積効果または bcc-CoFe のバンドの効果が、界面抵抗の増大およびバイアス電圧の増大に伴う  $\Delta V$  の増大に寄与している可能性がある。

#### (4) まとめ

ホイスラー合金ソース・ドレイン構造を用いた Si チャネルを介した磁気抵抗効果を行うことにより、本課題の目標である [1] 半導体基板上に於ける高スピン偏極材料の作製技術を開発、[2] ハーフメタル/Si 界面制御技術を開発、[3] デバイス評価による室温スピン注入・検出を実現の 3 点を達成することができた。今後、本結果をさらに推し進め、スピン MOS トランジスタの実現につなげていきたい。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 16 件、すべて査読有)

- Si 上に作製した  $\text{Co}_2\text{FeAl}_{0.5}\text{Si}_{0.5}$  フルホイスラー合金薄膜の結晶構造とスピン伝導特性、吉田昌弘、小野寺学史、手束展規、杉本諭、斉藤好昭、日本金属学会誌、Vol. 77, No. 3, p. 85-88 (2013). (<http://www.jim.or.jp/journal/j/>)
- Si 基板上への (001) 配向 MgO 薄膜の作製、小野寺学史、吉田昌弘、手束展規、杉本諭、斉藤好昭、日本金属学会誌、Vol. 77, No. 3, p. 89-93 (2013). (<http://www.jim.or.jp/journal/j/>)
- Non-local and Local Spin Signals in a Lateral Spin Transport Device with Schottky Tunnel Junctions, T. Saito, N. Tezuka, M. Matsuura and S. Sugimoto, IEEE Trans. Magn. 40 (7) (2013). (accepted). (<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?punumber=20>)
- Spin-based MOSFETs for logic and memory applications and spin accumulation signals in CoFe/tunnel barrier/SOI devices, Y. Saito, M. Ishikawa, T. Inokuchi, H. Sugiyama, T. Tanamoto, K. Hamaya, N. Tezuka, IEEE Tran. Magn. 48(11), 2739-2745 (2012). (<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?punumber=20>)
- New materials research for high spin polarized current, N. Tezuka, J. Magn. Magn. Mat., **324**, 3588-3592 (2012). (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/03048853>)
- Tunnel magnetoresistance effect in magnetic tunnel junctions with epitaxial  $\text{Co}_2\text{FeAl}_{0.5}\text{Si}_{0.5}$  Heusler electrodes on MgO (110) single substrates, N. Tezuka, F. Mitsuhashi, and S. Sugimoto, J. Appl. Phys., **111**, 07C718 (2012). (<http://jap.aip.org/>)
- Temperature and Bias Voltage Dependencies of Spin Injection Signals for  $\text{Co}_2\text{FeAl}_{0.5}\text{Si}_{0.5}/\text{n-GaAs}$  Schottky Tunnel Junction, T. Saito, N. Tezuka, S. Sugimoto, MATERIALS TRANSACTIONS, **53**, 641-644 (2012). (<http://www.jim.or.jp/journal/e/>)
- Spin injection and detection between CoFe/AlO<sub>x</sub> junctions and SOI investigated by Hanle effect measurements, T. Inokuchi, M. Ishikawa, H. Sugiyama, Y. Saito, and N. Tezuka, J. Appl. Phys., **111**, 07C316 (2012). (<http://jap.aip.org/>)
- Structural and Magnetic Properties of  $\text{Co}_2\text{FeAl}_{0.5}\text{Si}_{0.5}$  Full-Heusler Alloy Thin Films Deposited on Si Substrates by Molecular Beam Epitaxy, T. Saito, K. Kano, N. Tezuka, S. Sugimoto, JOURNAL OF THE JAPAN INSTITUTE OF METALS, **75**, 141-145 (2011). ([http://jim.or.jp/PUBS/thesis\\_j/j\\_index.html](http://jim.or.jp/PUBS/thesis_j/j_index.html))
- Spin-based MOSFET and Its Applications, Y. Saito, T. Inokuchi, M. Ishikawa, H. Sugiyama, T. Marukame, and T. Tanamoto, Journal of The

- Electrochemical Society, 158(10), H1068-H1076(2011).  
(<http://jes.ecsdl.org/>)
11. Spin injection and detection between CoFe/AlO<sub>x</sub> junctions and SOI investigates by Hanle effect measurements, T. Inokuchi, M. Ishikawa, H. Sugiyama, Y. Saito, N. Tezuka, J. Appl. Phys., 111, 07C316-1~3 (2011).  
(<http://jap.aip.org/>)
  12. Spin-based MOSFET の現状と展望、斎藤好昭、まぐね/Magnetics Jpn., Vol6, No. 1, 16-22(2011).  
<http://www.magnetics.jp/journal/magn e.html>
  13. Spin Injection, Transport, and Read/Write Operation in Spin-based MOSFET, Y. Saito, T. Marukame, M. Ishikawa, T. Inokuchi, H. Sugiyama, T. Tanamoto, Thin Solid Films, 519, 8266-8273(2011).  
(<http://www.magnetics.jp/journal/mag ne.html>)
  14. Electrical Transport Properties and Spin Injection in Co<sub>2</sub>FeAl<sub>0.5</sub>Si<sub>0.5</sub>/GaAs Junctions, T. Saito, N. Tezuka, S. Sugimoto, IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, 47, 2447-2450 (2011).  
(<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?punumber=20>)
  15. Magnetoresistance effect of tunnel junctions using Co<sub>2</sub>(Ti, Mn)Z (Z = Al, Si) Heusler alloys, A. Sasaki, N. Tezuka, L. Jiang, S. Sugimoto, J. Appl. Phys., 109, 07C736 (2011).  
(<http://jap.aip.org/>)
  16. Structural and Magnetic Properties of Co<sub>2</sub>FeAl<sub>0.5</sub>Si<sub>0.5</sub> Full-Heusler Alloy Thin Films on GaAs Substrates, T. Saito, N. Tezuka, S. Sugimoto, MATERIALS TRANSACTIONS, 52, 370-373 (2011).  
(<http://www.jim.or.jp/journal/e/>)
- [学会発表] (計 21 件)
1. 3 端子 Hanle 信号のバイアス電圧依存性、石川瑞恵、杉山英行、井口智明、棚本哲史、浜屋宏平、手束展規、斎藤好昭、第 60 回応用物理学会春季学術講演会、2013 年 3 月 28 日、神奈川工科大学
  2. 高スピン分極率材料を用いた磁気抵抗効果、手束展規、日本金属学会 2013 年春期講演大会、2013 年 3 月 28 日、東京理科大学
  3. Si/MgO/ Co<sub>2</sub>FeAl<sub>0.5</sub>Si<sub>0.5</sub> 構造の結晶構造および電気伝導特性、小野寺学史、吉田昌弘、手束展規、松浦昌志、杉本諭、斎藤好昭、日本金属学会 2013 年春期講演大会、2013 年 3 月 28 日、東京理科大学
  4. Co<sub>2</sub>FeAl<sub>0.5</sub>Si<sub>0.5</sub> 電極の構造規則度と n-GaAs へのスピン注入・検出効率、斎藤達哉、手束展規、松浦昌志、杉本諭、日本金属学会 2013 年春期 (152 回) 大会、2013 年 3 月 28 日、東京理科大学
  5. Spin accumulation in Si for CoFe/MgO/Mg/Si-on-insulator devices, H. Sugiyama, M. Ishikawa, T. Inokuchi, H. T. Tanamoto, K. Hamaya, Y. Saito, N. Tezuka, Joint MMM/Intermag Conference, January 15, 2013, Chicago, USA
  6. Non-local and Local Signals for Co<sub>2</sub>FeAl<sub>0.5</sub>Si<sub>0.5</sub>/n-GaAs Junctions, T. Saito, N. Tezuka, M. Matsuura and S. Sugimoto, 12<sup>th</sup> Joint MMM/ Intermag Conference, January 15, 2013, Chicago, USA.
  7. Si 基板上への(001)配向 MgO 薄膜の作製、小野寺学史、吉田昌弘、手束展規、杉本諭、斎藤好昭、日本金属学会 2012 年秋期 (151 回) 大会、2012 年 9 月 17 日、愛媛大学
  8. Co<sub>2</sub>FeAl<sub>0.5</sub>Si<sub>0.5</sub>/n-GaAs 接合における非局所 4 端子測定シグナルの Co<sub>2</sub>FeAl<sub>0.5</sub>Si<sub>0.5</sub> 成膜温度依存性、斎藤達哉、手束展規、杉本諭、日本金属学会 2012 年秋期 (151 回) 大会、2012 年 9 月 18 日、愛媛大学
  9. Si 上に作製した Co<sub>2</sub>FeAl<sub>0.5</sub>Si<sub>0.5</sub> フルホイー合金薄膜の結晶構造および電気伝導特性、吉田昌弘、小野寺学史、手束展規、杉本諭、斎藤好昭、日本金属学会 2012 年秋期 (151 回) 大会、2012 年 9 月 18 日、愛媛大学
  10. Spin-based MOSFETs for logic and memory applications and spin accumulation signals in CoFe/tunnel barrier/SOI devices, Y. Saito, M. Ishikawa, T. Inokuchi, H. Sugiyama, T. Tanamoto, N. Tezuka, [Invited], IEEE International magnetic conference 2012 (Intermag 2012), May 8, 2012, Vancouver, Canada.
  11. CoFe/AlO<sub>x</sub>/Si におけるスピン依存伝導特性の評価、井口智明、石川瑞恵、杉山

- 英行、齊藤好昭、手束展規、第 59 回応用物理学関係連合講演会、2012 年 3 月 17 日、早稲田大学
12. Asymmetric bias voltage dependence in spin accumulation signals observed by the three-terminal Hanle measurements for CoFe/MgO/SOI devices, M. Ishikawa, T. Inokuchi, H. Sugiyama, T. Tanamoto, K. Hamaya, N. Tezuka, Y. Saito, International conference on Solid State Devices and Materials (SSDM), September 27, 2012, Kyoto, JAPAN
  13. Fabricating Temperature Dependency of Spin Injection Signals for  $\text{CoFeAl}_{0.5}\text{Si}_{0.5}/\text{n-GaAs}$  Schottky Tunnel Junctions, T. Saito, N. Tezuka and S. Sugimoto, 2012 International Magnetism Conference, 2012. 5. 10, 2012, Vancouver, Canada
  14. Non-local and Local Signals in lateral spin transport device with  $\text{CoFeAl}_{0.5}\text{Si}_{0.5}/\text{GaAs}$  Junctions, T. Saito, N. Tezuka, M. Matsuura and S. Sugimoto, Japan-Russia Workshop on Advanced Materials Synthesis Process and Nanostructure, March 3, 2013, Sendai, Japan
  15. New Materials Research for High Spin Polarization, N. Tezuka [Invited], Moscow International Symposium on Magnetism 2011, Moscow State University, August 22, 2011, Moscow, Russia
  16. Spin-based MOSFET: a promising candidate for beyond CMOS device using nanotechnology, Y. Saito, T. Inokuchi, M. Ishikawa, H. Sugiyama, T. Tanamoto, [Invited], The Seventh International Nanotechnology Conference on Communication and Cooperation (INC7), May, 15, 2011, The College of Nanoscale Science and Engineering (CNSE), Albany, New York, USA
  17. Spin-based MOSFET and Its Applications, Y. Saito, T. Inokuchi, M. Ishikawa, H. Sugiyama, T. Marukame, T. Tanamoto [Invited], Semiconductor Technology for Ultra Large Scale Integrated Circuits and Thin Film Transistor III (ULSI vs. TFT 3), July 1, 2011, Hong Kong, China
  18. Spin injection and detection between CoFe/AlO<sub>x</sub> junctions and SOI investigates by Hanle effect measurements, T. Inokuchi, M. Ishikawa, H. Sugiyama, Y. Saito, N. Tezuka, 56<sup>th</sup> Annual Conference on Magnetism & Magnetic Materials, November 3, 2011, Phoenix, USA
  19. Read/Write operation of spin-based MOSFET and the related phenomena, Y. Saito, T. Marukame, M. Ishikawa, T. Inokuchi, H. Sugiyama [Invited], The 6<sup>th</sup> International Conference on the Physics and Applications of Spin Related Phenomena in Semiconductors (PASPS-VI), August, 1-4, 2010, University of Tokyo, Japan
  20. スピン MOSFET の取り組み現状と最新動向、齊藤好昭、未踏・ナノデバイステクノロジー第 151 委員会とシリコン超集積化システム第 165 委員会の合同研究会、2010 年 10 月 29-30、京都、日本
  21. Spin injection, Transport, and Read/Write operation in spin-based MOSFET, Y. Saito, T. Marukame, M. Ishikawa, T. Inokuchi, H. Sugiyama, T. Tanamoto [Invited], International Conference of Asian Union of Magnetism Societies (AUMS), December, 5-8, 2010, Jeju island, Korea
- [産業財産権]  
 ○出願状況 (計 1 件)  
 名称: 高速スピン MOSFET  
 発明者: 齊藤好昭, 杉山英行, 井口智明, 石川瑞  
 権利者: 株式会社 東芝  
 種類: 特許知財権  
 番号: 特願 2012 - 237600  
 出願年月日: 平成 24 年 10 月 29 日  
 国内外の別: 日、米
6. 研究組織  
 (1) 研究代表者  
 手束 展規 (Nobuki Tezuka)、東北大学・大学院工学研究科・准教授  
 研究者番号: 40323076  
 (2) 研究分担者  
 齊藤 好昭 (Yoshiaki Saito)、株式会社東芝・研究開発センター・研究主幹  
 研究者番号: 80393859