

様 式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書



平成 30 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26249039

研究課題名(和文) 超高品質界面を用いた次世代スピントランジスタ

研究課題名(英文) Next generation spin transistors using high-quality interfaces

研究代表者

大矢 忍 (Ohya, Shinobu)

東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・准教授

研究者番号：20401143

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 31,900,000 円

研究成果の概要(和文)：スピントランジスタの動作実証を中心とし、その周辺技術の開拓や学術構築も含め、次のような様々な成果を得ることに成功した。強磁性半導体GaMnAsを用いた縦型スピントランジスタの動作実証 GaMnAs量子井戸の量子サイズ効果を利用した新規物理の発見 GaMnAs横型スピンバルブ素子における大きな磁気抵抗比の実現 酸化物半導体を用いた縦型スピントランジスタの世界初室温動作実証 Ge系磁性半導体における強磁性発現メカニズム等の解明 強磁性ペロブスカイト酸化物ヘテロ構造における特異なスピン依存伝導の観測 トポロジカル結晶絶縁体におけるスピン流電流変換の初実証 超短パルス光を用いた磁性とバンドの高速変調

研究成果の概要(英文)：In our project, we have obtained various results mainly related to the realization of spin transistors, as follows. 1) Operation of vertical spin transistors using ferromagnetic semiconductor GaMnAs. 2) Observations of novel physics using the quantum size effect of GaMnAs quantum wells. 3) Large magnetoresistance in a lateral spin valve device using GaMnAs. 4) First realization of room temperature operation of a vertical spin transistor using an oxide semiconductor. 5) Understanding of the origin of the ferromagnetism of new magnetic semiconductors based on Ge 6) Observation of peculiar spin tunneling transport in ferromagnetic perovskite oxide heterostructures. 7) First realization of spin-to-charge conversion in a topological crystalline insulator. 8) Ultra fast control of a band structure and magnetization using ultra short light pulses.

研究分野：スピントロニクス

キーワード：分子線エピタキシー 半導体 酸化物 スピントランジスタ スピン注入

### 1. 研究開始当初の背景

情報機器の消費エネルギーを低減する上で、不揮発的に情報を記憶して高速で処理できるスピントランジスタ(スピン MOSFET)は、次世代に不可欠なデバイスである。2004 年に本デバイスが提案されて以降、半導体へのスピン注入や、デバイスの実際の試作など様々な研究が行われてきたが、大きな磁気抵抗比をもち、かつ電流変調が可能なスピントランジスタの実証に成功した報告例はなかった。また、本研究提案時には、スピントランジスタの研究はほぼ横型素子を用いて行われることが一般的であったが、チャネル長の微細化が難しく、スピンの輸送中に緩和することや、高品質な強磁性体/半導体界面を作製することの難しさなどにより、特に室温では磁気抵抗比は 0.1%程度以下の小さい値にとどまっていた。実用上、この値を数十%以上にすることが応用上重要な課題であった。強磁性体/半導体界面界面を原子レベルで制御可能な技術と、チャネル長を微細化できる技術が望まれていた。

### 2. 研究の目的

本研究では、筆者らが長年にわたり培ってきた分子線エピタキシーによる高品質結晶作製技術を利用して、原子レベルで制御された高品質な強磁性半導体や強磁性酸化物で構成される様々なヘテロ構造を作製し、電子スピン自由度を生かしたスピントランジスタ等の新しいデバイスを実現することを目指した。本提案では、筆者らの高品質界面作製技術を生かせる“縦型”スピントランジスタの室温基礎動作実証を最終目標として研究を行った。横型デバイスと異なり、本デバイスでは、チャネル長を原子層レベルまで微細化でき、スピン緩和の影響をほとんど受けないデバイスが実現でき、高効率にスピンを輸送できることが期待される。本提案では主としてスピン分極率の高い材料に注目しており、スピンの向きに応じた大きな信号変化が得られることが期待される。一方で、スピントランジスタのデータの書き換えの際に、低電力での磁化反転を可能にする技術が必要である。本研究では、理想的な強磁性体/半導体界面を実現し、様々なスピン依存現象やその制御技術を開拓し、材料の枠組みを超えた新たなスピン物性に関する学術的基礎の構築に貢献することを目指した。

### 3. 研究の方法

高品質界面作製技術を生かしたスピントランジスタの実現を中心として、その周辺技術の開拓や学術構築も含め、下記のように幅広く様々な研究を行った。

強磁性半導体を用いた縦型スピントランジスタの開拓：主に強磁性半導体 GaMnAs を中心とした材料系を用いて、縦型のスピントランジスタを作製し、素子の側壁からのゲート印加により、高い磁気抵抗比と電

流のゲート変調を実現することを目指した(物理工学専攻 岩佐義宏教授、千葉大地准教授、小山知弘助教との共同研究)。強磁性半導体を用いた高品質界面作製技術を生かして、量子効果を半導体に取り込む研究を行った。量子効果によりスピン依存伝導を変調できれば、スピントランジスタに応用可能な手法として利用できる可能性がある。強磁性半導体 GaMnAs や単結晶強磁性体 Fe を量子井戸として利用した量子ヘテロ構造を作製し、量子効果がスピン依存トンネル伝導に与える影響を調べた。

強磁性半導体からなる横型スピンバルブ素子(スピントランジスタのゲートがない型)でスピン依存伝導の大きさを向上できるか検証を行った。本研究は、縦型スピントランジスタを実現する上でも重要な知見となる。

新規 IV 族強磁性半導体である GeFe やクラスター系 GeMn に関する強磁性発現メカニズムの解明に関する研究とスピン依存トンネル伝導素子への応用の研究を行った。研究を始めた当初は、IV 族強磁性半導体系でスピン依存トンネル伝導を観測したという報告は全くなかった。(物理学専攻 藤森淳教授、Spring8 との共同研究)

Fe と格子整合性の良い酸化物半導体 GaO<sub>x</sub>を用いたヘテロ構造からなる縦型スピントランジスタを作製し、室温でデバイス動作実証を行った。GaO<sub>x</sub>は次世代の半導体基盤材料として着目されている。(産業技術総合研究所 齋藤秀和博士 との共同研究) ペロブスカイト酸化物成長用の分子線エピタキシー装置を立ち上げ、強磁性ヘテロ構造の成長と縦型スピン依存伝導素子への応用を目指した研究を行った。(電気系工学専攻 田畑仁教授、関宗俊准教授との共同研究)

次世代のスピントランジスタにおける低消費磁化反転技術につながると期待されるスピン流電流の変換技術の研究を行った。分子線エピタキシー装置を用いて高品質単結晶からなるトポロジカル結晶絶縁体 SnTe と Fe のヘテロ構造を作製し、スピンポンピングにより、スピン流を電流に変換することを試みた。トポロジカル絶縁体材料系は、大きなスピンホール角を有することが期待されており、新たな高効率磁化反転技術に応用できることが期待されている。(筑波大学 黒田真司教授 東京大学理学系研究科 秋山了太助教との共同研究)

将来のスピントランジスタで利用可能な超高速磁化反転技術の実現のため、超短パルス光を用いた磁化変調技術の開拓を試みた。特に強磁性半導体と半導体ベース磁気クラスター系(MnAs ナノ微粒子が GaAs に埋め込まれた材料系)に対してピコ秒の超短パルス光を照射して、バンド構造の変

調とそれに伴う磁化の変調について調査し、物理現象の総合的な理解を目指した。(新領域創成科学研究所 岡本博教授との共同研究)

#### 4. 研究成果

高品質界面作製技術を生かしたスピントランジスタの実現を中心として、その周辺技術の開拓や学術構築も含め、下記のように幅広く様々な研究成果が得られた。

GaMnAs/GaAs/GaMnAs からなる三層構造をベースとした縦型スピントランジスタを作製し、磁気抵抗比 60%程度(従来の 600 倍以上)を有するスピントランジスタを低温 4 K において初めて実現した[APL(2015)]。2015 年当初は 0.5%であった電流変調比が、素子の改良に伴い、2018 年には 130%まで増大した[Sci. Rep.(2018), submitted to JAP(2018)]。それと同時に、ゲート電圧により磁気異方性が変化する現象が観測された[Sci. Rep.(2017)]。ゲート電圧により磁化方向を制御できる新たな技術の創出に結びつくものと期待される。

GaMnAs 量子井戸共鳴トンネルダイオードの量子準位をトンネル伝導特性測定により観測することに成功した。通常、半導体においては、ドーピング濃度の増大に伴いキャリアの散乱が増大しキャリアのコヒーレンスは弱まるが、GaMnAs においては、強磁性転移が起こる Mn 濃度で突然正孔のコヒーレンスが增大する特異な振る舞いが観測された。強磁性半導体系において、高濃度の Mn がドーピングされた状態においてもキャリアのコヒーレンスが保てることが明らかになった。[Nature Commun.(2016)] さらに、電圧を印加して正孔を注入する側の電極のフェルミレベルを量子準位に合わせると、通常 2 回対称である磁気異方性が 4 回対称に変化する特異な変化が見られた。磁気異方性は磁場を印加した状態で様々な方位に磁場を印加して状態密度( $dI/dV$ )の変化を調べることで調べた。異なるバンドが重なっている物質においては、量子効果により、磁気異方性が制御できる新たな可能性が明らかになった。低消費電力で磁化方向を制御できる新たな技術の創出につながるものと期待される[Nature Commun.(2017).]。

GaMnAs/GaAs/GaMnAs からなる横型スピントランジスタ素子を作製した。低温で 10%もの大きな磁気抵抗比(従来比 100 倍程度)を得ることに成功した。横型素子の新たな方向性を切り開く結果と言える[APEX(2018).]。

Fe/GaO<sub>x</sub>/Fe からなる三層構造を用いて縦型スピントランジスタを作製し、室温で初めて 40%程度の大きな磁気抵抗比を持つスピントランジスタの基礎動作に世界で初めて成功した。(磁気抵抗比は従来の 400 倍程度) [submitted to Nature Nanotech.].

新規強磁性半導体 GeFe やクラスター系 GeMn における強磁性発現メカニズムやバンド構造を明らかにすることに初めて成功した[JAP(2014), PRB(2014), PRB(2017), PRB(2017)]。また、放射光を用いた磁気円二色性の測定により室温においても微小な強磁性領域が存在することが明らかになった[Sci. Rep.(2016)]。強磁性半導体においては強磁性転移温度が低いことが問題であるが、高い転移温度の実現につながる新たな結果である。また、Fe/MgO/GeFe からなる三層構造を作製し、IV 族強磁性半導体を用いて初めてトンネル磁気抵抗効果を観測することに成功した[APEX(2016), AIP Adv.(2017)]。

ペロブスカイト酸化物からなる高品質ヘテロ構造の実現に成功した。LaSrMnO<sub>3</sub>/LaMnO<sub>3</sub>/LaSrMnO<sub>3</sub> ヘテロ構造において世界で初めてトンネル磁気抵抗効果を得ることに成功した[APL(2017)]。LaSrMnO<sub>3</sub>/LaAlO<sub>3</sub>/Nb:SrTiO<sub>3</sub> 単一障壁ヘテロ構造において、トンネル異方性磁気抵抗効果を観測することに成功した。磁気異方性の解析の結果、フェルミレベルより 100 meV 程度低いエネルギーで、磁気異方性の対称軸が変わっていることが確認された[Sci. Rep.(2017)]。この結果は、 $d$  軌道がトンネル伝導に関係する物質系においては、物質の設計により磁気異方性を小さな電圧で制御できる可能性を示している。さらに、LaSrMnO<sub>3</sub>/SrTiO<sub>3</sub>/LaSrMnO<sub>3</sub> ヘテロ構造においても、小さな電圧印加でトンネル磁気抵抗効果と磁気異方性の対称軸が変化する現象を観測することに成功した[to be submitted.]。

トポロジカル結晶絶縁体 SnTe に Fe 層からスピンポンピングによりスピン流を注入し、それを電流に変換することに初めて成功した。バルク物質としては比較的大きな 0.01 というスピンホール角が得られた。SnTe は通常のトポロジカル絶縁体と異なり、表面状態が空間反転対称性で守られているため、磁場に対して強固であることが期待され、本結果はスピントロニクス応用上重要だと言える[PRB(2017)]。

強磁性半導体 GaMnAs に対するピコ秒超短パルス光照射により、フェルミ面の位置を同定することに初めて成功した[PRB(2016)R]。また、テラヘルツ超短パルス光を照射することにより強磁性半導体の磁化を変調することに初めて成功した[Sci. Rep.(2018)]。MnAs 微粒子が埋め込まれた半導体系において、過去のテラヘルツ光による磁化制御の研究の中で最も大きな 20%もの磁化変調量を得ることに成功した(submitted to APL)。次世代の超高速磁化変調技術につながる成果であると言える。

## 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〕(全て査読有り)(計 24 件)

1. M. Kobayashi, I. Muneta, Y. Takeda, Y. Harada, A. Fujimori, J. Krempasky, T. Schmitt, S. Ohya, M. Tanaka, M. Oshima, and V. N. Strocov, "Unveiling the impurity band inducing ferromagnetism in magnetic semiconductor (Ga,Mn)As", *Phys. Rev. B* **89**, 205204/1-8 (2014).
2. Y. K. Wakabayashi, S. Ohya, Y. Ban, and M. Tanaka, "Important role of the non-uniform Fe distribution for the ferromagnetism in group-IV-based ferromagnetic semiconductor GeFe", *J. Appl. Phys.* **116**, 173906/1-7 (2014).
3. Y. K. Wakabayashi, Y. Ban, S. Ohya, and M. Tanaka, "Annealing-induced enhancement of ferromagnetism and nano-particle formation in ferromagnetic-semiconductor GeFe", *Phys. Rev. B* **90**, 205209/1-7 (2014).
4. H. Terada, S. Ohya, and M. Tanaka, "Intrinsic magneto-optical spectra of GaMnAs", *Appl. Phys. Lett.* **106**, 222406/1-4 (2015).
5. T. Kanaki, H. Asahara, S. Ohya, and M. Tanaka, "Spin-dependent transport properties of a GaMnAs-based vertical spin metal-oxide-semiconductor field-effect transistor structure", *Appl. Phys. Lett.* **107**, 242401/1-4 (2015).
6. Y. K. Wakabayashi, S. Sakamoto, Y. Takeda, K. Ishigami, Y. Takahashi, Y. Saitoh, H. Yamagami, A. Fujimori, M. Tanaka, and S. Ohya, "Room-temperature local ferromagnetism and its nanoscale expansion in the ferromagnetic semiconductor  $\text{Ge}_{1-x}\text{Fe}_x$ ", *Sci. Rep.* **6**, 23295/1-9 (2016).
7. T. Ishii, T. Kawazoe, Y. Hashimoto, H. Terada, I. Muneta, M. Ohtsu, M. Tanaka, and S. Ohya, "Electronic structure near the Fermi level in the ferromagnetic semiconductor GaMnAs studied by ultrafast time-resolved light-induced reflectivity measurements", *Phys. Rev. B Rapid Communications* **93**, 241303(R)/1-4 (2016).
8. I. Muneta, S. Ohya, H. Terada and M. Tanaka, "Sudden restoration of the band ordering associated with the ferromagnetic phase transition in a semiconductor", *Nature Commun.* **7**, 12013/1-7 (2016). UTokyo Research News : 半導体の基礎物理学における新たな発見
9. T. Kanaki, T. Koyama, D. Chiba, S. Ohya, and M. Tanaka, "Spin-dependent transport and current modulation in a current-in-plane spin-valve field-effect transistor", *Appl. Phys. Lett.* **109**, 152403/1-4 (2016).
10. Y. K. Wakabayashi, K. Okamoto, Y. Ban, S. Sato, M. Tanaka, and S. Ohya, "Tunneling magnetoresistance in trilayer structures composed of group-IV ferromagnetic semiconductor  $\text{Ge}_{1-x}\text{Fe}_x$ , MgO, and Fe", *Appl. Phys. Express* **9**, 123001/1-4 (2016). Selected as Highlights of 2016
11. Y. K. Wakabayashi, R. Akiyama, Y. Takeda, M. Horio, G. Shibata, S. Sakamoto, Y. Ban, Y. Saitoh, H. Yamagami, A. Fujimori, M. Tanaka, and S. Ohya, "Origin of the large positive magnetoresistance of  $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x$  granular thin films", *Phys. Rev. B* **95**, 14417/1-6 (2017).
12. S. Sakamoto, Y. K. Wakabayashi, Y. Takeda, S.-i. Fujimori, H. Suzuki, Y. Ban, H. Yamagami, M. Tanaka, S. Ohya, and A. Fujimori, "Origin of robust nanoscale ferromagnetism in Fe-doped Ge revealed by angle-resolved photoemission spectroscopy and first-principles calculation", *Phys. Rev. B* **95**, 75203/1-5 (2017).
13. I. Muneta, T. Kanaki, S. Ohya, and M. Tanaka, "Artificial control of the bias-voltage dependence of tunnelling anisotropic magnetoresistance using quantization in a single-crystal ferromagnet", *Nature Commun.* **8**, 15387/1-8 (2017). UTokyo Research News : 磁性をデザインする新たな手法を開拓
14. T. Matou, K. Takeshima, L. D. Anh, M. Seki, H. Tabata, M. Tanaka, and S. Ohya, "Reduction of the dead layer and observation of tunneling magnetoresistance in  $\text{La}_{0.67}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$ -based heterostructures with a  $\text{LaMnO}_3$  layer", *Appl. Phys. Lett.* **110**, 212406/1-4 (2017).
15. H. Terada, S. Ohya, L. D. Anh, Y. Iwasa, and M. Tanaka, "Magnetic anisotropy control by applying an electric field to the side surface of ferromagnetic films", *Sci. Rep.* **7**, 5618/1-7 (2017).
16. L. D. Anh, N. Okamoto, M. Seki, H. Tabata, M. Tanaka, and S. Ohya, "Hidden peculiar magnetic anisotropy at the interface in a ferromagnetic perovskite-oxide heterostructure", *Sci. Rep.* **7**, 8715/1-7 (2017).
17. S. Ohya, A. Yamamoto, T. Yamaguchi, R. Ishikawa, R. Akiyama, L. D. Anh, S. Goel, Y. K. Wakabayashi, S. Kuroda, and M. Tanaka, "Observation of the inverse spin Hall effect in the topological crystalline insulator SnTe using spin pumping", *Phys. Rev. B* **96**, 094424 (2017).
18. K. Takiguchi, Y. K. Wakabayashi, K. Okamoto, M. Tanaka, and S. Ohya, "Fe concentration dependence of tunneling magnetoresistance in magnetic tunnel junctions using group-IV ferromagnetic

- semiconductor GeFe", AIP Advances **7**, 105202/1-6 (2017).
19. H. Asahara, T. Kanaki, S. Ohya, and M. Tanaka, "Large spin-valve effect in a lateral spin-valve device based on ferromagnetic semiconductor GaMnAs", Appl. Phys. Express **11**, 033003 (2018).
  20. H. Terada, S. Ohya, and M. Tanaka, "Intrinsic transmission magnetic circular dichroism spectra of GaMnAs", AIP Advances **8**, 035009 (2018).
  21. R. Suzuki, Y. K. Wakabayashi, K. Okamoto, M. Tanaka, and S. Ohya, "Quantum size effect in a Fe quantum well detected by resonant tunneling carriers injected from an p-type Ge semiconductor electrode", Appl. Phys. Lett. **112**, 152402 (2018).
  22. T. Nakamura, L. D. Anh, Y. Hashimoto, Y. Iwasaki, S. Ohya, M. Tanaka, and S. Katsumoto, "Proximity-Induced Superconductivity in a Ferromagnetic Semiconductor (In,Fe)As", Journal of Physics: Conference Series **969**, 012036 (2018).
  23. T. Kanaki, H. Yamasaki, T. Koyama, D. Chiba, S. Ohya, M. Tanaka, "Large current modulation and tunneling magnetoresistance change by a side-gate electric field in a GaMnAs-based vertical spin metal-oxide-semiconductor field-effect transistor", Sci. Rep. **8**, 7195 (2018).
  24. T. Ishii, H. Yamakawa, T. Kanaki, T. Miyamoto, N. Kida, H. Okamoto, M. Tanaka, and S. Ohya, "Ultrafast magnetization modulation induced by the electric field component of a terahertz pulse in a ferromagnetic-semiconductor thin film", Sci. Rep. **8**, 6901/1-6 (2018).
- 〔学会発表〕(計 131 件)
1. S. Ohya, Y. K. Wakabayashi, Y. Ban, S. Sakamoto, Y. Takeda, A. Fujimori, and M. Tanaka (invited), "Promising features of the group-IV-based ferromagnetic semiconductor  $\text{Ge}_{1-x}\text{Fe}_x$ ", Energy Materials Nanotechnology (EMN) East Meeting, C08, Beijing Xijiao Hotel, Beijing, China, 2015 年 4 月 22 日.
  2. I. Muneta, S. Ohya, H. Terada and M. Tanaka (invited), "Sudden restoration of the band ordering associated with the ferromagnetic phase transition in a semiconductor", EMN LasVegas Meetings, H04, South Point Hotel, Las Vegas, USA, 2016 年 10 月 12 日.
  3. S. Ohya and M. Tanaka (invited), "Spin transistors and novel spin-related quantum phenomena obtained with ferromagnetic semiconductors", 13th International Conference of Computational Methods in Sciences and Engineering, The MET Hotel, Thessaloniki, Greece, 2017 年 4 月 22 日.
  4. I. Muneta, H. Terada, T. Kanaki, S. Ohya, M. Tanaka (invited), "Band structure and ferromagnetism in ferromagnetic semiconductor GaMnAs", Collaborative Conference on Materials Research (CCMR) 2017, International Convention Center Jeju, Jeju island, South Korea, 2017 年 6 月 26 日.
  5. Iriya Muneta, Hiroshi Terada, Toshiaki Kanaki, Shinobu Ohya, Masaaki Tanaka (invited), "Sudden restoration of band ordering and magnetic anisotropy control using quantum size effect in GaMnAs", 62nd Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, The David L. Lawrence Convention Center, Pittsburgh, USA, 2017 年 11 月 9 日.
  6. Taketomo Nakamura, Le Duc Anh, Yoshiaki Hashimoto, Shinobu Ohya, Masaaki Tanaka, and Shingo Katsumoto (invited), "Long range proximity effect in a ferromagnetic semiconductor (In, Fe)As", Oxide Superspin 2017, 28P3, Kyoto University, Kyoto, Kyoto, 2017 年 11 月 28 日.
  7. M. Tanaka, S. Ohya, L. D. Anh, N. T. Tu, I. Muneta, and P. N. Hai (invited), "Recent Progress and topics in semiconductor spintronics and ferromagnetic semiconductors", Junjiro Kanamori Memorial International Symposium, S2, The University of Tokyo, Tokyo, 2017 年 9 月 27 日.
  8. Shinobu Ohya, Le Duc Anh, Tatsuya Matou, Noboru Okamoto, Kento Takeshima, Munetoshi Seki, Hitoshi Tabata, and Masaaki Tanaka (invited), "Novel spin-related tunneling phenomena in perovskite oxide heterostructures", Collaborative Conference on Materials Research (CCMR) 2018, Songdo Convensia, Incheon, Korea, 2018 年 5 月 27 日.
  9. Shinobu Ohya, Akiyori Yamamoto, Tomonari Yamaguchi, Ryo Ishikawa, Ryota Akiyama, Le Duc Anh, Shobhit Goel, Yuki K. Wakabayashi, Shinji Kuroda, and Masaaki Tanaka (invited), "Observation of the inverse spin Hall effect in the topological crystalline insulator SnTe using spin pumping", SPIE Nanoscience + Engineering, 10732-117, San Diego Convention Center, San Diego, CA, USA, 2018 年 8 月 23 日.
  10. 大矢忍、宗田伊理也、若林勇希、小林正起、坂本祥哉、竹田幸治、伴芳祐、藤森淳、田中雅明(招待講演), "強磁性半導体の材料開拓と強磁性発現機構の理解", 第 1 回放射光連携研究ワークショップ, ステーションコンファレンス東京, 東京, 2015 年 3 月 17 日.

11. 大矢忍 (招待講演), 電子のスピンを利用した新しいエレクトロニクスの開拓, 時習館特別授業, 真和高校、文徳高校、熊本, 2015 年 8 月 5-6 日.
12. T. Ishii, T. Kawazoe, Y. Hashimoto, H. Terada, I. Muneta, M. Ohtsu, M. Tanaka, and S. Ohya (招待講演), "Band structure of GaMnAs near the Fermi level studied by time-resolved light-induced reflectivity measurements", 第 76 回応用物理学会秋季学術講演会, 16a-3A-1, 講演奨励賞受賞記念講演, 名古屋国際会議場, 名古屋, 2015 年 9 月 16 日.
13. 大矢忍、田中雅明 (招待講演), "III-V および IV 族強磁性半導体研究の最近の進展: バンド構造、フェルミ準位、ヘテロ構造デバイス", 未来研究イニシアティブ「計算機ナノマテリアルデザイン新元素戦略」ワークショップ ~ナノスピントロニクス of デザインと実証をめざして~, 国際高等研究所, 京都, 2015 年 9 月 25 日.
14. 宗田伊理也、大矢忍、田中雅明 (招待講演), "トンネル分光と TAMR で観測した強磁性半導体のバンド構造", 「スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワーク」構築に向けて 東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究 S 研究会, 東北大学電気通信研究所, 仙台, 2015 年 12 月 5 日.
15. 大矢忍 (招待講演), "エピタキシャル単結晶薄膜および その接合界面を生かしたスピントロニクス", ATI スピントロニクス研究会, 4, TKP ガーデンシティ御茶ノ水, 東京, 2016 年 6 月 2 日.
16. 大矢忍 (招待講演), "スピントランジスタの原理動作実証に向けた材料開拓と新規物性探索", さきがけ「界面の構造と制御」研究領域 第 4 回懇話会, 東北大学青葉山キャンパス, 仙台, 2016 年 7 月 2 日.
17. 大矢忍, 金木俊樹, 寺田 博, 宗田伊理也, 若林勇希, 真藤達也, 竹嶋健人, 田中雅明 (招待講演), "スピントランジスタの原理動作実証に向けた材料開拓と新規物性探索", 日本磁気学会 第 59 回スピンエレクトロニクス専門研究会/第 58 回化合物新磁性材料専門研究会, 産業技術総合研究所, つくば, 2016 年 7 月 8 日.
18. 大矢忍 (招待講演), "半導体の電子の”磁石の性質”が生み出す新しい物理の探求と次世代デバイスの創製", 時習館特別授業, 真和高校、文徳高校、熊本, 2016 年 8 月 8 日.
19. 大矢忍, 宗田伊理也, 金木俊樹, 寺田 博, 田中雅明 (招待講演), "GaMnAs において観測された強磁性転移に伴う正孔のコヒーレンスの復活", 第 21 回スピン工学の基礎と応用(PASPS-21), I-4, 北海道

大学, 札幌, 2016 年 12 月 12-13 日.

20. 大矢忍 (招待講演), "スピントランジスタの原理動作実証に向けた材料開拓と新規物性探索", 日本磁気学会 第 75 回ナノマグネティクス専門研究会, 東京大学, 東京, 2017 年 5 月 26 日.
21. 大矢忍 (招待講演), "スピントランジスタの原理動作実証に向けた材料開拓と新規物性探索", 中性子産業利用推進協議会 平成 29 年度磁性材料研究会, エッサム神田ホール, 東京, 2017 年 10 月 12 日.
22. 宗田伊理也、大矢忍 (招待講演), "強磁性半導体における価電子帯秩序の回復と量子サイズ効果による磁気異方性の制御", 第 1 回 CSRN-Tokyo Workshop 2017, 東京大学, 東京, 2017 年 10 月 27 日.
23. 大矢忍, Le Duc Anh, 関宗俊, 田畑仁, 田中雅明 (招待講演), "強磁性ペロブスカイト酸化物ヘテロ界面における特異な磁気異方性", 応用物理学会 強制的秩序とその操作に関わる研究グループ主催酸化物エピタキシャル薄膜研究の最前線, 東京工業大学, 神奈川, 2018 年 6 月 20 日.

(他 108 件)

〔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

<http://www.cryst.t.u-tokyo.ac.jp/ohya/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

大矢 忍 (OHYA, Shinobu)

東京大学・大学院工学系研究科総合研究機構・准教授

研究者番号: 20401143

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし

(4) 研究協力者 なし