

平成21年 5月22日現在

研究種目：若手研究（A）

研究期間：2007～2008

課題番号：19686021

研究課題名（和文） 強磁性酸化物半導体の光誘起による室温量子磁気伝導振動

研究課題名（英文） Light induced room temperature magnetoresistance oscillation in ferromagnetic oxide semiconductor

研究代表者

福村 知昭（FUKUMURA TOMOTERU）

東北大学・金属材料研究所・講師

研究者番号：90333880

研究成果の概要：

強磁性半導体 Co ドープ TiO₂ の高品質アナターゼ型試料の作製により、常磁性－強磁性の相境界の電子濃度を決定し、キュリー温度が約 600 K ときわめて高温であることを明らかにした。バンド間遷移を誘起する紫外光励起では電子濃度の増加は微小で顕著な磁気伝導の変化は見られなかったが、強電界効果による電子ドーピングの結果、室温での異常ホール効果が増加した。これは強磁性が電子キャリアの媒介であることの直接的な証拠であり、室温で電氣的に強磁性を制御できた応用上も極めて重要な成果である。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	12,900,000	3,870,000	16,770,000
2008年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
年度			
年度			
年度			
総計	16,500,000	4,950,000	21,450,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子・電気材料工学

キーワード：電子・電気材料、光物性、磁性、半導体物性、スピントロニクス

1. 研究開始当初の背景

現代の情報技術の基盤といえる半導体エレクトロニクスはムーアの法則にしたがって集積化が進んできた。しかしながら、目覚ましいナノテク技術の発展もそろそろ原子分解能にまで迫り、今までの技術の延長では半導体エレクトロニクスの発展も頭打ちになることが予想されている。そこで必要とされるのは今までの方針の転換である。つまり、既存の半導体や既知の現象の利用のみに頼らず、新物質や新現象をデバイス応用に利用

することである。それらは beyond CMOS 技術とも呼ばれるが、その中のひとつがスピントロニクスで、半導体テクノロジーとの融合を考えると将来的には半導体を用いたスピントロニクスが重要である。

半導体スピントロニクスでは、半導体中の電子の電荷とスピンの両方の自由度をエレクトロニクスに活用する。半導体における制御性の高い電荷をスピンの自由度と結合させるためには、半導体性と強磁性を併せ持つ強磁性半導体と呼ばれる材料が有用である。

現在、国内外の研究では、キュリー温度が200K以下と低い制御性が高くデバイス実証に極めて有利であるMnドーブIII-V族半導体に関する研究と、キュリー温度が室温を超える新材料を目指した研究が世界中で行なわれている。

我々は、1999年に高いキュリー温度を実現可能な系として酸化物半導体に磁性不純物をドーブすることを提案した。エレクトロニクス材料としても注目されている酸化物半導体に関して材料探索を行った結果、2001年にCoドーブTiO₂が400K以上のキュリー温度を持つことを発見した。当初はその高温強磁性の起源がCo強磁性金属の析出ではないかという疑問も投げかけられた。しかしながら、系統的にパラメータを変化させた試料を用いた磁気円二色性分光および異常ホール効果の観測により、CoドーブTiO₂の伝導電子が強磁性スピン分極を有することを実証し、CoドーブTiO₂が強磁性半導体の性質を持つことを明らかにした。

高いキュリー温度を持つ材料が発見されても、デバイス化への展開が困難であれば、その材料の魅力は失せてしまう。したがって、デバイス実証は不可欠である。2005年にCoドーブTiO₂をトンネル磁気接合の強磁性電極として用いたトンネル磁気抵抗効果の観測に成功した。これは、近年数多く報告されている高温強磁性半導体のなかで初めてのトンネル磁気抵抗効果の観測である。トンネル磁気抵抗効果は約200Kまで観測されており、強磁性半導体を用いたトンネル磁気抵抗効果の最高動作温度を100K程度上回っている。

以上のように、CoドーブTiO₂が強磁性半導体の性質を持つことを示し、デバイス実証にも成功した。しかしながら、トンネル磁気抵抗効果は強磁性伝導体一般に見られるものであり、強磁性半導体の性質を活用しているわけではない。前述のように、電荷とスピンの自由度を持つことが強磁性半導体の特徴であり、電荷とスピンの協奏効果を単一の強磁性半導体材料で実証すること、たとえば、伝導キャリアの制御を通して強磁性を制御する、といった新デバイスにつながる現象を室温で実証することに重要な価値がある。

2. 研究の目的

(1) 半導体スピントロニクスの可能性を広げるためには、今まで強磁性半導体で用いて検証されてきた強磁性の人工的な制御の動作温度を室温まで向上させる必要がある。そのために、世界中のグループが、既存の強磁性半導体のキュリー温度の向上や室温以上のキュリー温度を持つ新物質の探索を行なってきたが、室温強磁性を示す物質はいくつ

か見つかっているもののいまだに室温強磁性の制御には成功していない。この実現のためには、室温強磁性半導体そのものの強磁性の基本的な性質を知ることと、その室温強磁性を制御するためのより有効な方法を検討することが必要である。

半導体にバンドギャップ以上のエネルギーを照射するとキャリアが生成し光伝導が生じるのはよく知られた現象である。強磁性半導体MnドーブInAsも光を照射するとキャリア濃度の増加により強磁性が発現することが知られている[Koshihara et al., Phys. Rev. Lett. **78**, 4617 (1997)]。我々は、この結果を参考にして、室温強磁性半導体CoドーブTiO₂に光を照射し磁気伝導測定を行った。すると、室温の磁気抵抗に振動構造が生じることを発見した。この現象は、非磁性化合物半導体に見られる磁気フォノン効果と同様のふるまいに見える。しかしながら、一般に高移動度の化合物半導体でしか見られない磁気フォノン効果がなぜ何桁も低い移動度を持つCoドーブTiO₂で生じるのか、それにそもそもなぜ強磁性試料で生じるのか、といった疑問も残る。この磁気伝導振動は、従来の磁気フォノン効果の理論枠組みでは想定されていなかったものである。本研究では、この新しい物質系で見つかった磁気伝導振動のメカニズムの解明、そして最終的には、CoドーブTiO₂の室温強磁性の制御方法に関する指針を得ることを目的としている。

3. 研究の方法

(1) アナターゼ型試料の高品質作製および基礎物性の解明

アナターゼ型試料はルチル型試料より高移動度を示し、低キャリア濃度で強磁性を発現するため、光照射によるキャリア濃度の変化に対して、大きな光伝導の変化が現れることが期待される。しかしながら、ルチル型はTiO₂の熱力学的安定相で、アナターゼ型は準安定相であるため、後者の高品質試料の作製は容易ではない。そこで、高品質TiO₂エピタキシャルバッファ層の作製条件の最適化を行ない、高品質CoドーブTiO₂エピタキシャル薄膜の成長を行なった。そして、CoドーブTiO₂の電気特性や電子状態の評価を行なった。後者の評価は共同研究により、X線磁気円二色性分光およびX線光電子分光を行なった。

(2) 化学ドーピングと磁気伝導・強磁性の関係

強磁性半導体では、磁気伝導や強磁性の性質が試料の電子濃度に応じて顕著に変化する。したがって、(1)の薄膜試料の作製で

は、電子濃度を系統的に変化させた試料を作製することが必要になる。電子濃度を系統的に変化させることができる作製条件を開発し、各々の試料について磁気伝導および強磁性の評価を行なった。

(3) 光照射効果

①ヘテロ構造の作製と光伝導評価

光照射下での電気伝導測定を行うために、光伝導の測定系を構築した。そして、光照射下での磁気伝導測定を行なった。光照射下での安定した磁気伝導測定を行うために、ヘテロ構造の開発を行なった。表面の電子状態の光伝導に対する影響を減らすために、導電性ポリマーをショットキー電極に用いたショットキー構造での光照射効果を評価した。

②スパッタ法による薄膜と多層膜の作製

我々が主に用いているパルスレーザー堆積法は電気伝導性酸化物の薄膜作製を得意とするが、絶縁体薄膜など材料によっては高品質薄膜成長が困難な場合もある。一方で、スパッタ法は絶縁体薄膜の作製も容易で、様々な材料とのヘテロ接合を形成するには、スパッタ法が優位な場合もありえる。そこでスパッタ法での Co ドープ TiO₂ 薄膜作製を行なった。

(4) 電界効果ドーピングと磁気伝導・強磁性の関係

最近、高いキャリア濃度を誘起できる電界効果技術が発達してきた。本研究では光照射による高い電子濃度の誘起が困難であったため、電気二重層トランジスタ構造を用いた電界効果による電子濃度の増加を試み、磁気伝導および強磁性の変化を評価した。

4. 研究成果

(1) アナターゼ型試料の高品質作製および基礎物性の解明

アナターゼ型 Co ドープ TiO₂ 試料の作製には、従来は LaAlO₃ 基板に直接 Co ドープ TiO₂ 薄膜を成長していたが、表面平坦性が悪く、諸物性の再現性が良いとはいえなかった。LaAlO₃ 基板に約 5 nm 厚の絶縁性 TiO₂ バッファ層を成長しポストアニール条件を最適化することにより、アナターゼ薄膜成長のための、表面平坦性の高いバッファ層が得られた。その結果、磁化の大きさも Co²⁺ イオンの高スピン配置の理想値である $3 \cdot \mu_B / \text{Co}$ に近い磁化を持つ Co ドープ TiO₂ 試料の作製に成功した。X 線磁気円二色性や X 線光電子分光からも Co²⁺ の状態を確認した。

(2) 化学ドーピングと磁気伝導・強磁性の関係

(1) で達成した膜質の向上により、製膜時の酸素分圧を制御することで、再現性よく酸素欠損量を制御することが可能になった。すなわち、電子濃度を再現性よく制御することができた。その結果、抵抗率の温度依存性はメタリックな挙動から絶縁体的な挙動まで電子濃度に応じて変化した。磁化や異常ホール効果も、メタリックな試料では大きく、絶縁体的な試料では消滅する、というキャリア媒介強磁性を示す結果が得られた。室温における移動度もルチル型試料に比べて、二桁近く大きい。その結果、ルチル型試料で強磁性発現に必要な電子濃度より一桁低い電子濃度 ($\sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$) で室温強磁性が発現した。すなわち、光や電界による電子濃度制御で強磁性を制御しやすい条件になった。

(3) 光照射効果

①ヘテロ構造の作製と光伝導評価

Co ドープ TiO₂ 試料 (バンドギャップ $\sim 3.2 \text{ eV}$) に対して YAG 4 倍波の擬 CW レーザーを照射したところ光伝導は生じたが、経時変化が大きく定常状態に至らないため、磁気伝導の測定が困難であった。TiO₂ の光伝導では古くから表面準位の存在が指摘されており、この光伝導の長い緩和成分の原因になっていると推測した。そこで、酸化物半導体に対してよいショットキー電極になることが最近わかってきたポリチオフェン系導電性高分子を透明電極として Co ドープ TiO₂ 試料表面に塗布したところ、長い緩和成分が劇的に抑制された。これは、ショットキー障壁の形成により生じた薄膜表面の空乏層により、表面準位の影響が抑制されたことを意味する。そこで、光照射下で磁気伝導を測定したが、電子濃度のパーセントオーダーの増加が正常ホール効果から観測されたものの、当初期待していた磁気伝導の顕著な変化は見られなかった。

②スパッタ法による薄膜と多層膜の作製

スパッタ法により、Co ドープ TiO₂ 薄膜試料が作製できれば、金属や絶縁体とのヘテロ接合の選択肢も広がり、研究の展開も望める。しかしながら、これまで報告されてきたスパッタ法で作製された薄膜試料では、強磁性半導体の性質が明瞭に示されていなかった。超高真空スパッタ装置により、Co ドープ TiO₂ 薄膜を作製したところ、サファイア基板にはルチル型のエピタキシャル薄膜、ガラス基板には多結晶薄膜を成長することができた。また、酸素欠損量に応じて電子濃度が変化し、強磁性の性質もそれに応じて変化した。

各々の試料は室温で再現性よく巨大磁気光学効果および異常ホール効果を示し、強磁性半導体の性質を示すことがわかった。

(4) 電界効果ドーピングと磁気伝導・強磁性の関係

(3)の磁気伝導の光照射効果では当初予想していた磁気抵抗振動が観測されなかったものの、異常ホール効果が光照射により微小ながら変化していることを示唆する結果が得られた。そこで、光照射より大きな電子濃度の増大が期待できる電界ドーピングによる異常ホール効果の変化を調べた。電界ドーピングの方法としては、最近、強電界印加が可能な方法として注目を浴びている電気二重層トランジスタ構造を用いた。ポリエチレンオキッドを電解液とする電気二重層トランジスタにより、室温でゲート電界を印加したところ、光照射の場合より一桁以上高い 10^{19}cm^{-3} 台の電子ドーピングに成功した。その結果、異常ホール効果がほとんど見えない試料も電界ドーピングにより異常ホール効果が明瞭に現れるまで変化した。(この効果は可逆的であるため、電気化学反応の可能性は排除できる。)すなわち、この物質の強磁性が伝導電子を媒介していることが明らかになった。

(5) 国内外における位置づけとインパクト

Co ドープ TiO_2 の高温強磁性の起源については、Co 金属の析出、酸素欠損誘起強磁性、等の批判的な意見もあった。我々はこれまでに、酸素欠損量を系統的に変化させた試料を作製して、酸素欠損量、すなわち電子濃度に応じて諸物性が系統的に変化することを示してきたが、この強磁性がキャリア媒介によるものでなく、酸素欠損を介した超交換相互作用による絶縁性強磁性という主張が今でも絶えない。本研究では、酸素欠損量を固定した単一の試料の電子濃度を電界効果で変化させることにより、強磁性の強さが変化することを観測した。すなわち、この結果はキャリアを媒介とした強磁性であることを示す決定的な証拠となる。

(6) 今後の展望など

Co ドープ TiO_2 の高温強磁性は、高々数パーセントの Co のドーピングによりどうして 600 K という極めて高いキュリー温度を示すのかが大きな謎である。しかし、本研究により、伝導電子キャリアを媒介とした強磁性であるということが明らかになった。一方で、通常のキャリア誘起強磁性の理論の枠組みではこのような高いキュリー温度は説明でき

ないため、今後さらなる高温強磁性のメカニズムの解明に関する研究が必要とされよう。

また、この室温強磁性の電界による制御の実現は、今まで極低温でしか実証されていなかった半導体スピントロニクスデバイスが室温動作も可能であることを示しており、室温動作半導体スピントロニクスへの大きな一歩となる。

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 4 件)

- ① T. Yamasaki, T. Fukumura, Y. Yamada, M. Nakano, K. Ueno, T. Makino, M. Kawasaki, “Co-doped TiO_2 films grown on glass: room-temperature ferromagnetism accompanied with anomalous Hall effect and magneto-optical effect . . .”, Appl. Phys. Lett., Vol. 94, No. 102515, p. 1-3, (2009) (査読有).
- ② T. Yamasaki, T. Fukumura, M. Nakano, K. Ueno, M. Kawasaki, “Room temperature ferromagnetic semiconductor rutile $\text{Ti}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_2$. epitaxial thin films grown by sputtering method”, Appl. Phys. Express, Vol. 1, No. 111302, p. 1-3, (2008) (査読有).
- ③ K. Ueno, T. Fukumura, H. Toyosaki, M. Nakano, T. Yamasaki, Y. Yamada, M. Kawasaki, “Anomalous Hall effect in anatase $\text{Ti}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_2$. above room temperature”, J. Appl. Phys., Vol. 103, No. 07D114, p. 1-3 (2008) (査読有).
- ④ T. Fukumura, H. Toyosaki, K. Ueno, M. Nakano, T. Yamasaki, M. Kawasaki, “A scaling relation of anomalous Hall effect in ferromagnetic semiconductors and metals”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 46, p. L462-L466, (2007) (査読有).

[学会発表] (計 27 件)

- ① 山下直飛人、須田山貴亮、田久保耕、溝川貴司、山田良則、豊崎秀海、福村知昭、川崎雅司, “光照射による $\text{Ti}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_2$ の電子状態変化II”, 日本物理学会第 64 回年次大会, 2009 年 3 月 30 日, 東京都豊島区.
- ② 郡司遼佑、平賀広貴、中野匡規、大友明、牧野哲征、福村知昭、川崎雅司, “酸化物基板上へのステアリン酸 SAM の形成”, 2009 年春季 第 56 回応用物理学関係連合講演会, 2009 年 3 月 30 日, 茨城県つくば市.
- ③ 山田良則、上野和紀、福村知昭、中野匡規、下谷秀和、岩佐義宏、川崎雅司, “アナタ

- ーゼ型 $Ti_{1-x}Co_xO_{2-\delta}$ の異常ホール効果の電界制御”, 2009年春季 第56回応用物理学関係連合講演会, 2009年3月30日, 茨城県つくば市.
- ④ R. Y. Gunji, H. Hiraga, M. Nakano, A. Ohtomo, T. Makino, T. Fukumura, M. Kawasaki, “Self-assembled stearic acid monolayer on oxide surfaces”, The Annual PD/RA Research Presentations (FY2008) of the Global COE Program: Materials Integration International Center of Education and Research, 2009年3月9日, 宮城県仙台市.
- ⑤ F. H. Chang, L. Lee, H. J. Lin, D. J. Huang, C. T. Chen, Y. Yamada, K. Ueno, T. Fukumura, M. Kawasaki, “XMCD study of ferromagnetic semiconductor anatase $Ti_{1-x}Co_xO_{2-\delta}$ thin films”, AIST-RIKEN Joint WS on “Emergent Phenomena of Correlated Materials”, 2009年3月5日, 沖縄県名護市.
- ⑥ R. Y. Gunji, H. Hiraga, M. Nakano, A. Ohtomo, T. Makino, T. Fukumura, M. Kawasaki, “Self-assembled octadecanoic acid monolayer on oxide surfaces”, Tohoku - NTU Research Student Workshop on Materials Integration for Health, Energy & Better Environment, 2009年2月11日, 宮城県仙台市.
- ⑦ 福村知昭, 山田良則, 山崎高志, 中野匡規, 上野和紀, 牧野哲征, 川崎雅司, “Coドープ TiO_2 の強磁性制御にむけて”, 第13回半導体スピン工学の基礎と応用 (PASPS-13), 2009年1月27日, 宮城県仙台市.
- ⑧ R. Y. Gunji, M. Nakano, A. Tsukazaki, A. Ohtomo, T. Fukumura, M. Kawasaki, “Conducting polymer/polar molecular layer/ $Nb:TiO_2$ Schottky junctions toward oxide electronics”, KINKEN-WAKATE 2008, 2008年12月5日, 宮城県仙台市.
- ⑨ 山田良則, 福村知昭, 上野和紀, 中野匡規, 山崎高志, 牧野哲征, 川崎雅司, “室温強磁性酸化半導体 $Ti_{1-x}Co_xO_{2-\delta}$ の光伝導特性”, 第116回東北大学金属材料研究所講演会, 2008年11月27日, 宮城県仙台市.
- ⑩ 郡司遼佑, 中野匡規, 塚崎敦, 大友明, 福村知昭, 川崎雅司, “導電性高分子/極性分子膜/ $Nb:TiO_2$ のショットキー接合”, 第116回東北大学金属材料研究所講演会, 2008年11月27日, 宮城県仙台市.
- ⑪ T. Fukumura, “Advanced ceramics for future electronics”, UK-Japan Frontiers of Science Symposium, 2008年10月4日, 神奈川県三浦郡. (招待参加)
- ⑫ 坂本勇太, 小林正起, 片岡隆史, 宋敬錫, 藤森淳, F. H. Chang, L. Lee, H. J. Lin, D. J. Huang, C. T. Chen, 豊崎秀海, 福村知昭, 川崎雅司, “磁性半導体 $Ti_{1-x}Co_xO_{2-\delta}$ 薄膜のX線磁気円二色性の組成およびキャリア濃度依存性”, 日本物理学会2008年秋季大会, 2008年9月21日, 岩手県盛岡市.
- ⑬ 山下直飛人, 須田山貴亮, 田久保耕, 溝川貴司, 豊崎秀海, 福村知昭, 川崎雅司, “光照射による $Ti_{1-x}Co_xO_2$ の電子状態変化”, 日本物理学会2008年秋季大会, 2008年9月21日, 岩手県盛岡市.
- ⑭ 山田良則, 福村知昭, 上野和紀, 中野匡規, 山崎高志, 牧野哲征, 川崎雅司, “アナターゼ型 $Ti_{1-x}Co_xO_{2-\delta}$ 薄膜における電気伝導の光照射効果”, 第69回応用物理学会学術講演会, 2008年9月5日, 愛知県春日井市.
- ⑮ T. Fukumura, K. Ueno, T. Yamasaki, Y. Yamada, M. Nakano, M. Kawasaki, “High T_C ferromagnetic diluted oxide: cobalt-doped TiO_2 ”, Indo-Japan Workshop on Novel Magnetic Ordering in Nanostructured Materials, 2008年6月10日, 東京都文京区. (招待講演)
- ⑯ 山田良則, 福村知昭, 上野和紀, 中野匡規, 山崎高志, 川崎雅司, “アナターゼ型 $Ti_{1-x}Co_xO_{2-\delta}$ 薄膜の強磁性と電子濃度の相関”, 第115回金属材料研究所講演会, 2008年5月13日, 宮城県仙台市.
- ⑰ 上野和紀, 福村知昭, 山田良則, 中野匡規, 山崎高志, 川崎雅司, “アナターゼ構造 $Ti_{1-x}Co_xO_{2-\delta}$ の高温異常ホール効果”, 第115回金属材料研究所講演会, 2008年5月13日, 宮城県仙台市.
- ⑱ 上野和紀, 福村知昭, 山田良則, 中野匡規, 山崎高志, 川崎雅司, “アナターゼ構造 $Ti_{1-x}Co_xO_{2-\delta}$ の高温異常ホール効果”, 2008年春季 第55回応用物理学関係連合講演会, 2008年3月28日, 千葉県船橋市.
- ⑲ 山田良則, 福村知昭, 上野和紀, 中野匡規, 山崎高志, 川崎雅司, “アナターゼ $Ti_{1-x}Co_xO_{2-\delta}$ 薄膜における強磁性-常磁性相境界の磁性”, 2008年春季 第55回応用物理学関係連合講演会, 2008年3月28日, 千葉県船橋市.
- ⑳ K. Ueno, Y. Yamada, H. Toyosaki, M. Nakano, T. Yamasaki, T. Fukumura, M. Kawasaki, “High temperature measurements of anomalous Hall Effect in anatase $Ti_{1-x}Co_xO_{2-\delta}$,” 第12回「半導体スピン工学の基礎と応用」研究会 (PASPS12), 2007年12月21日, 大阪府吹田市.
- ㉑ K. Ueno, T. Fukumura, H. Toyosaki, M. Nakano, T. Yamasaki, Y. Yamada, M. Kawasaki, “Anomalous Hall Effect in anatase $Ti_{1-x}Co_xO_2$ above room temperature”,

52nd Magnetism and Magnetic Materials Conference, 2007年11月8日, Tampa, USA.

㉒ T. Fukumura, H. Toyosaki, K. Ueno, M. Nakano, M. Kawasaki, “Spin-related phenomena of $TiO_2:Co$ ”, The 34th International Symposium on Compound Semiconductors, 2007年10月16日, Kyoto, Japan. (招待講演)

㉓ T. Fukumura, H. Toyosaki, K. Ueno, M. Nakano, T. Yamasaki, M. Kawasaki, “On ferromagnetism in magnetic oxide semiconductors”, JSPS Japan-Poland Seminar on Magnetic Semiconductors, 2007年9月28日, Warsaw, Poland. (招待講演)

㉔ 福村知昭, 豊崎秀海, 上野和紀, 中野匡規, 山崎高志, 山田良則, 川崎雅司, “透明で電気を流す強磁性半導体: Co ドープ TiO_2 ”, エレクトロニクス技術広域分野研究交流会, 2007年9月21日, 宮城県仙台市.

㉕ 福村知昭, 豊崎秀海, 上野和紀, 中野匡規, 山崎高志, 川崎雅司, Co ドープ TiO_2 を用いた磁気伝導デバイスの可能性, 第68回応用物理学関係連合講演会, 2007年9月6日, 北海道札幌市. (招待講演)

㉖ T. Fukumura, H. Toyosaki, K. Ueno, M. Nakano, T. Yamasaki, M. Kawasaki, “Magnetic oxide semiconductors toward room temperature spintronics”, the third Euro-Asian Symposium on Magnetism, EASTMAG-2007, 2007年8月26日, Kazan, Russia. (招待講演)

㉗ 福村知昭, 豊崎秀海, 上野和紀, 中野匡規, 山崎高志, 川崎雅司, “強磁性半導体の異常ホール効果のスケーリング”, ボトムアップ若手の会 第二回研究会, 2007年7月12日, 茨城県つくば市.

[図書] (計1件)

① T. Fukumura, H. Toyosaki, K. Ueno, M. Nakano, T. Yamasaki, M. Kawasaki, “A scaling behavior of anomalous Hall effect in cobalt doped TiO_2 ”, Frontiers in Materials Research: Advances in Materials Research, Vol. 10, p. 87-92, Y. Fujikawa, K. Nakajima, T. Sakurai (Eds.) (Springer, 2008).

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称: 強磁性半導体素子及び強磁性半導体の制御方法

発明者: 福村知昭、川崎雅司、上野和紀、岩佐義宏、下谷秀和、山田良則

権利者: 独立行政法人科学技術振興機構

種類: 特許

番号: 特願 2009-080616

出願年月日: 2009年3月27日

国内外の別: 国内

○取得状況 (計2件)

①名称: 多層膜構造体、及び素子構造

発明者: 川崎雅司、福村知昭、大友明、豊崎秀海、山田康博、大野英男、松倉文礼

権利者: 国立大学法人東北大学

種類: 特許

番号: 特許第 4102880 号

取得年月日: 2008年4月4日

国内外の別: 国内

②名称: コバルトドープ二酸化チタン膜の作製方法、コバルトドープ二酸化チタン膜、及び多層膜構造

発明者: 川崎雅司、福村知昭、大友明、豊崎秀海、山田康博、大野英男、松倉文礼

権利者: 国立大学法人東北大学

種類: 特許

番号: 特許第 3944584 号

取得年月日: 2007年4月20日

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福村 知昭 (FUKUMURA TOMOTERU)

東北大学・金属材料研究所・講師

研究者番号:

90333880