

課題番号	GR029
------	-------

**先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム)
実施状況報告書(平成24年度)**

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名	透明半導体スピントロニクス基礎と応用
研究機関・ 部局・職名	東京大学・大学院理学系研究科・准教授
氏名	福村 知昭

1. 当該年度の研究目的

室温強磁性半導体 Coドーピング TiO₂ の高温強磁性の起源を探り、半導体スピントロニクスの発展に役立つのが本研究の目的である。これまでに、Coドーピング TiO₂ の強磁性を室温で制御することに成功した。今年度は主に、Coドーピング TiO₂ 薄膜の膜質の向上、全固体素子化を目指した電界効果デバイスの開発、および強磁性の制御を直接観測するための磁区構造の観察に関する研究に取り組む。くわえて、強磁性発現のメカニズムについて実験的アプローチからの解明を試みる。国民との科学・技術対話の推進に関しては、ラボツアーや一般に対する成果紹介等を通して、これまで同様に継続して行っていく。

2. 研究の実施状況

昨年度に世界で初めて室温で電界効果を用いて強磁性を誘起した結果を Science 誌に発表した論文が反響を呼び、今年度は、国際学会を中心とした 7 件の招待講演、国際専門雑誌への依頼論文の掲載、を通して、研究成果をさらに発信することができた。また、本研究の成果および(本研究の源流となる)研究代表者が 10 年以上携わってきた酸化物ベース磁性半導体の研究についても、著名出版社から機能性酸化物材料に関する英文図書への執筆依頼を受けることができた。酸化物ベース磁性半導体について強磁性発現のメカニズムについて長年議論があったが、これらの研究の発信を通して研究代表者らの主張が認知されてきている。Coドーピング TiO₂ の室温強磁性を制御するための全固体電界効果素子については異なる素子構造を検討しており、ゲート絶縁層として固体電解質を用いた素子や酸化物ナノシートを用いた素子の作製に着手しつつある。一方で、強磁性の制御をダイレクトに観察する手段については、高感度磁気力顕微鏡を用いることで磁区構造を室温で観察することに成功した。高温強磁性発現のメカニズムの詳細についても、薄膜の低温成長による試料の高品質化およびキャリア量の精密制御が可能になったため、磁化や電気伝導特性のキャリア濃度依存性が詳細に求められるようになってきている。国民との科学・技術対話の推進に関しては、高校生を対象とした化学実験とラボツアー、および一般を対象とした大学病院や市民センター等を会場とした研究成果のポスター発表を行った。

3. 研究発表等

<p>雑誌論文</p> <p>計4件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計3件</p> <p>“Room temperature ferromagnetism induced by electric field in cobalt-doped TiO₂” (Invited) Tomoteru Fukumura, Yoshinori Yamada, Kazunori Ueno, Hongtao Yuan, Hidekazu Shimotani, Yoshihiro Iwasa, Lin Gu, Susumu Tsukimoto, Yuichi Ikuhara, Masashi Kawasaki ECS Transactions, Vol. 50, Issue 4, p. 53-57 (2013) “Dielectric Materials and Metals for Nanoelectronics and Photonics 10”, from the Honolulu, HI meeting. ISSN: 1938-6737 (print); 1938-5862 (online) http://dx.doi.org/10.1149/05004.0053ecst</p> <p>“Electron carrier-mediated room temperature ferromagnetism in anatase (Ti,Co)O₂” Tomoteru Fukumura, Yoshinori Yamada, Kazunori Ueno, Hongtao Yuan, Hidekazu Shimotani, Yoshihiro Iwasa, Lin Gu, Susumu Tsukimoto, Yuichi Ikuhara, Masashi Kawasaki Spin, Vol. 2, No. 1230005, p. 1-10 (2013). ISSN: 2010-3247 (print); 2010-3255 (online) http://dx.doi.org/10.1142/S2010324712300058</p> <p>“Ferromagnetism of cobalt-doped anatase TiO₂ studied by bulk- and surface-sensitive soft x-ray magnetic circular dichroism” Vijay Raj Singh, Keisuke Ishigami, Virendra Kumar Verma, Goro Shibata, Yoh Yamazaki, Takashi Kataoka, Atsushi Fujimori, Fan-Hsiu Chang, D.-J. Huang, Hong-Ji Lin, Chien-Te Chen, Yoshinori Yamada, Tomoteru Fukumura, Masashi Kawasaki Applied Physics Letters, Vol. 100, No. 242404, p. 1-5 (2012). ISSN: 0003-6951 (print); 1077-3118 (online) http://dx.doi.org/10.1063/1.4729123</p> <p>(掲載済み一査読無し) 計1件</p> <p>“酸化物強磁性半導体の電界スピン制御” 福村知昭 応用電子物性分科会会誌, 18 巻 5 号, p. 180-183 (2012).</p> <p>(未掲載) 計0件</p>
<p>会議発表</p> <p>計14件</p>	<p>専門家向け 計14件</p> <p><u>Tomoteru Fukumura</u> 【招待講演】 “Electrically-induced ferromagnetism at room temperature in (Ti,Co)O₂: carrier-mediated ferromagnetism” APS March Meeting 2013, Baltimore, USA, 3/18-22 (2013). [American Physical Society]</p> <p><u>Tomoteru Fukumura</u> 【招待講演】 “Room temperature ferromagnetism induced by electric field in cobalt-doped TiO₂” Pacific RIM Meeting on Electrochemical and Solid-State Science (PRiME 2012)/222nd Meeting of ECS, Hawaii, USA, 10/7-12 (2012). [The Electrochemical Society]</p> <p><u>Tomoteru Fukumura</u> 【招待講演】 “Electric field induced room temperature ferromagnetism in transition metal doped oxide semiconductor” 2012 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2012), Kyoto, Japan, 9/25-27 (2012). [The Japan Society of Applied Physics]</p> <p>Shun Inoue, <u>Tomoteru Fukumura</u>, Tetsuya Hasegawa “Observation of Magnetic Domain Structure in Room Temperature Ferromagnetic Semiconductor (Ti,Co)O₂” 2012 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2012), Kyoto, Japan, 9/25-27 (2012). [The Japan Society of Applied Physics]</p>

様式19 別紙1

	<p>Thantip S. Krasienapibal, <u>Tomoteru Fukumura</u>, Yasushi Hirose, Tetsuya Hasegawa “Low Temperature Epitaxial Growth of Anatase TiO₂ Thin Film by Pulsed Laser Deposition” The 17th International Conference on Molecular Beam Epitaxy (MBE2012), Nara, Japan, 9/23–28 (2012). [The Japan Society of Applied Physics]</p> <p><u>Tomoteru Fukumura</u> 【招待講演】 “High temperature ferromagnetism in doped oxides: from the birth to electrical control, and the mechanism” 41st “Jaszowiec” International School & Conference on the Physics of Semiconductors, Krynica, Poland, 6/8–15 (2012). [Polish Academy of Science]</p> <p><u>Tomoteru Fukumura</u> 【招待講演】 “Electrically Induced Ferromagnetism at Room Temperature in Cobalt-Doped Titanium Dioxide” Intermag 2012, Vancouver, Canada, 5/7–11 (2012). [IEEE Magnetics Society]</p> <p><u>福村知昭</u> 【招待講演】 “酸化物薄膜合成と物質・物性探索” 分子研研究会「無機化学の現状と未来:若い世代が切り開く新しいサイエンス」, 岡崎市, 1/18–19 (2013). [分子科学研究所]</p> <p><u>福村知昭</u> 【招待講演】 “酸化物強磁性半導体の電界スピン制御” 応用電子物性分科会・スピントロニクス研究会 共催研究会「強磁性体のスピン制御技術とその展望」, 秋葉原, 11/21 (2012). [応用物理学会]</p> <p>小川大輔, <u>福村知昭</u>, 長田実, 佐々木高義, 長谷川哲也 “単一高誘電率ナノシートの絶縁特性” 2012 年秋季 第 73 回 応用物理学会学術講演会, 愛媛市, 9/11–14 (2012). [応用物理学会]</p> <p>井上俊, <u>福村知昭</u>, 長谷川哲也 “室温強磁性半導体(Ti,Co)O₂の磁区構造の観測” 2012 年秋季 第 73 回 応用物理学会学術講演会, 愛媛市, 9/11–14 (2012). [応用物理学会]</p> <p>清良輔, <u>福村知昭</u>, 長谷川哲也 “Bi²⁺二次元正方格子を含む Y₂O₂Bi 薄膜のエピタキシャル成長” 2012 年秋季 第 73 回 応用物理学会学術講演会, 愛媛市, 9/11–14 (2012). [応用物理学会]</p> <p>Thantip S. Krasienapibal, <u>Tomoteru Fukumura</u>, Yasushi Hirose, Tetsuya Hasegawa “Enhanced Mobility in self-buffered Anatase TiO₂ Grown at Low Temperature” 2012 年秋季 第 73 回 応用物理学会学術講演会, 愛媛市, 9/11–14 (2012). [応用物理学会]</p> <p>Jie Wei, <u>Tomoteru Fukumura</u>, Tetsuya Hasegawa “Epitaxial Growth of Li_{3x}La_{2/3-x}TiO₃ Thin Films on perovskite substrates by Pulsed Laser Deposition” 2012 年秋季 第 73 回 応用物理学会学術講演会, 愛媛市, 9/11–14 (2012). [応用物理学会]</p> <p>一般向け 計0件</p>
<p>図書</p> <p>計 0 件</p>	
<p>産業財産権 出願・取得状 況</p> <p>計0件</p>	<p>(取得済み) 計0件</p> <p>(出願中) 計0件</p>

様式19 別紙1

Webページ (URL)	
国民との科学・技術対話の実施状況	<p>ポスター展示「未来からの招待状」 日時:平成24年8月7日 9時～16時; 場所:東京大学安田講堂 対象者:一般; 参加人数442名 内容:オープンキャンパスに際し、安田講堂の2階通路において、「未来からの招待状」と題したポスター展示を行った。参加を希望した最先端・次世代研究開発支援プログラムの補助事業者 42名の全ポスターを展示した。また、展示と併せて、来場者にコメントを書いてもらい、その場でポスターと掲示するとともに、展示についてのアンケートを実施した。</p> <p>ポスター展示「未来からの招待状」 日時:平成24年8月31日～9月6日; 場所:東京大学医学部附属病院ロビー 対象者:一般; 参加人数:病院の外来来院者は一日あたり約3000名 内容:最先端・次世代研究開発支援プログラムのポスター展示を行った。展示と併せて、来場者にコメントを書いてもらい、その場でポスターと掲示するとともに、展示についてのアンケートを実施した。</p> <p>ポスター展示「未来からの招待状」 日時:平成24年10月20日 9時～15時; 場所:東京大学安田講堂 対象者:一般; 参加者人数:約150名 内容:東京大学のホームカミングデイにおいて、最先端・次世代研究開発支援プログラムのポスター展示を行った。今回の展示では、過去の展示で集まったコメントをポスターと共に展示した。また、展示と併せて、今回も来場者にコメントを書いてもらい、その場でポスターとともに掲示するとともに、展示についてのアンケートを実施した。</p> <p>研究室見学企画 「東大の研究室をのぞいてみよう！」プログラム 日時:平成24年12月21日10時30分～11時30分 対象者:高校生および高校教員; 参加者人数:3名 内容:兵庫県滝川第二高校の高校生と教員の方々を対象に、研究室見学を実施した。研究室の大学院生8名がそれぞれの研究テーマの内容や使用している実験機器の紹介を行った。アンケートから見学は大変好評であった。</p> <p>ポスター展示「未来からの招待状」 日時:平成25年1月16、17日; 場所:文京区シビックセンター 対象者:一般;参加者人数:約150名 内容:文京シビックセンターB2F「区民ひろば」において、最先端・次世代研究開発支援プログラムのポスター展示を行った。今回の展示では、過去の展示で集まったコメントと研究者から集まったコメントへの回答もポスターと共に展示した。</p>
新聞・一般雑誌等掲載 計〇件	
その他	

4. その他特記事項

実施状況報告書(平成24年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されず

1. 助成金の受領状況(累計)

(単位:円)

	①交付決定額	②既受領額 (前年度迄の 累計)	③当該年度受 領額	④(=①-②- ③)未受領額	既返還額(前 年度迄の累 計)
直接経費	119,000,000	55,860,000	41,120,000	22,020,000	0
間接経費	35,700,000	16,758,000	12,336,000	6,606,000	0
合計	154,700,000	72,618,000	53,456,000	28,626,000	0

2. 当該年度の収支状況

(単位:円)

	①前年度未執 行額	②当該年度受 領額	③当該年度受 取利息等額 (未収利息を除 く)	④(=①+②+ ③)当該年度 合計収入	⑤当該年度執 行額	⑥(=④-⑤) 当該年度未執 行額	当該年度返還 額
直接経費	0	41,120,000	0	41,120,000	37,269,337	3,850,663	0
間接経費	0	12,336,000	0	12,336,000	0	12,336,000	0
合計	0	53,456,000	0	53,456,000	37,269,337	16,186,663	0

3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	34,917,338	物理特性測定システム装置等
旅費	1,946,257	招待講演及び学会聴講(カナダ)等
謝金・人件費等	0	
その他	405,742	学会参加登録費等
直接経費計	37,269,337	
間接経費計	0	
合計	37,269,337	

4. 当該年度の主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能 等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関 名
ターボV301ポンプ	(株)パスカル	1	708,697	708,697	2012/6/11	東京大学
ICDDPDF-2 2 012 アカデミック	(株)ライトストーン	1	840,000	840,000	2013/3/1	東京大学
UHV式スリム回転 窓式レーザー導入	AOV(株)	1	861,000	861,000	2012/10/2	東京大学
コンビナトリアルス パッタガン	(株)パスカル	1	1,653,750	1,653,750	2013/3/18	東京大学
物理特性測定シス テム装置	米国カンタム・デ ザイン社	1	28,455,000	28,455,000	2013/2/8	東京大学