

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 6 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23340105

研究課題名(和文)トポロジカル絶縁体の新物質の開発とヘリカルスピン構造の解明

研究課題名(英文)Resolving spin-helical textures of newly developed topological insulator materials

研究代表者

木村 昭夫(KIMURA, AKIO)

広島大学・理学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：00272534

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,100,000円、(間接経費) 4,230,000円

研究成果の概要(和文)：トポロジカル絶縁体は、物質の中身は絶縁体で、その表面では金属状態が実現し、欠陥や不純物によって電子が散乱されずエネルギーを損失することなく伝導ができるというとても魅力的な物質として期待される。本研究では、従来型より理想的な新しいトポロジカル絶縁体を独自に作成し、それらのヘリカルスピントクスチャーの詳細な解明を行うため、高分解能・スピン角度分解光電子分光および低温走査型トンネル顕微鏡を用いて研究を行った。様々な三元カルコゲナイド物質や薄膜を作成し、トポロジカル絶縁体であることを実験的に確立し、それらのトポロジカル表面状態のスピン偏極度を精度よく捉えることができた。

研究成果の概要(英文)：Topological insulators are characterized by a spin-helical metallic surface state, while it is insulating in the bulk. This fascinating property enables a dissipationless carrier transport at the surface. The aim of this work was to newly develop more ideal topological insulator materials and resolve their spin-helical textures. We have confirmed that several ternary chalcogenide materials possess topologically non-trivial states and their spin-helical textures have been successfully figured out by using the spin- and angle- resolved photoelectron spectroscopy and the low-temperature scanning tunneling microscopy.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性II

キーワード：トポロジカル絶縁体 トポロジカル表面状態 スピンヘリカルトクスチャー スピン分解光電子分光
キャリア制御

1. 研究開始当初の背景

トポロジカル絶縁体は、物質の中身は絶縁体で、その表面では特殊な金属状態が実現し、欠陥や不純物によって電子が散乱されずエネルギーを損失することなく伝導ができるというとても魅力的な性質が期待されている。一方、2009年にピスマスセレンイド(Bi_2Se_3)がトポロジカル絶縁体であることが発見されて以来、国内外で精力的に研究が行われる様になった。世界中の研究グループにより、表面電子電流の直接検出を試みるべく数々の実験が行われたが、結果的には不本意な結晶内部の電流に支配され、表面だけに生じる電流がとらえられなかった。このような中、表面電流が結晶内部に漏れることのない、より理想的な新しいトポロジカル絶縁体の物質探索が必要となってきた。

2. 研究の目的

本研究では、新しいトポロジカル絶縁体を独自に作成し、それらの運動量空間におけるヘリカルスピントクスチャーの詳細な解明を行うことが目的である。

3. 研究の方法

広島大学放射光科学研究センターの高輝度放射光を用いた高分解能・スピン角度分解光電子分光および低温走査型トンネル顕微鏡(LT-STM)を用いた。

4. 研究成果

初年度はスピン・角度分解光電子分光装置の高効率化をすすめ、エネルギー分解能、運動量分解能において世界最高性能を達成した。また期間中に開発した装置を用い、合成した三元カルコゲナイド物質について、トポロジカル絶縁体であることを実験的に確立し、それらのトポロジカル表面状態のスピン偏極度を精度よく捉えることができた。研究成果をまとめると以下の様になる。

(1) 本研究グループが2010年に発見した、理想的な表面ディラックコーンを有するトポロジカル絶縁体 TlBiSe_2 についてスピン角度分解光電子分光を行い、ヘリカルスピントクスチャーの直接観測に成功した。さらに元素置換によるバルクキャリア制御に成功した。

(2) トポロジカル絶縁体 $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}$ や $\text{Bi}_2\text{Se}_2\text{Te}$ について、ディラック点上部だけでなく、下部についても高いスピン偏極度が観測され、将来的な両極性トポロジカルデバイスへの応用に大きく期待ができることを示した。

(3) 相変化材料、熱電変換材料として知られていた GeBi_2Te_4 単結晶のトポロジカル表面状態が70%もの高いスピン偏極度を有することを明らかにした。これにより表面状態のスピン偏極度の結晶中に存在する原子配列の乱れによる影響は少ないことがわかった。

(4) 走査型トンネル顕微鏡を用いて、トポロジカル絶縁体 $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}$ の非占有状態側に明確な準粒子干渉パターンを観測することがで

きた。この結果は非占有状態側でもそのトポロジカル表面状態としての性質が維持されていることを示している。今後、光励起のスピン流発生などへの応用につながると期待される。

(5) 分子線エピタキシー法により $\text{Ni}(111)$ 単結晶表面上に典型的なトポロジカル絶縁体 Bi_2Se_3 薄膜の作成を試みたところ、エピタキシャル成長をしていることが分かった。

これらの成果を、国内外の学会にて報告し、国際学術雑誌に掲載され国内外にて高い評価を得た。また2件のプレス発表を行い、6件の新聞報道があった。またこれらの成果をうけて、研究代表者に国内外より40件を超える招待講演の依頼があった。

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31件)

1. K. Miyamoto, T. Okuda, M. Nurmamat, M. Nakatake, H. Namatame, M. Taniguchi, E. Chulkov, K. Kokh, O. Tereshchenko, A. Kimura, "Gigantic Rashba effect of surface state energetically buried in topological insulator $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}$," *New J. Phys.*, 査読有, 印刷中.
2. Y. Kishimizu, T. Ueno, M. Sawada, H. Furuta, A. Kimura, H. Namatame, and M. Taniguchi, "In-situ Studies of Structure and Magnetic Properties of Co Clusters on $\text{Au}(111)$," *e-J. Surf. Sci. Nanotech.*, 査読有, vol.12, 2014, pp.129-132.
3. K. Ito, T. Sanai, Y. Yasutomi, S. Zhu, K. Toko, Y. Takeda, Y. Saitoh, A. Kimura, T. Suemasu, "X-ray magnetic circular dichroism for $\text{Co}_x\text{Fe}_{4-x}\text{N}$ ($x = 0, 3, 4$) films grown by molecular beam epitaxy," *J. Appl. Phys.*, 査読有, vol.115, 2014, art.no.17C712/pp.1-3.
4. J. Braun, K. Miyamoto, A. Kimura, T. Okuda, M. Donath, H. Ebert, and J. Minár, "Exceptional behavior of d-like surface resonances on $\text{W}(110)$: the one-step model in its density matrix formulation," *New J. Phys.*, 査読有, vol.16, 2014, art.no.015005/pp.1-18.
5. K. Kuroda, M. Ye, E. F. Schwier, M. Nurmamat, K. Shirai, M. Nakatake, S. Ueda, K. Miyamoto, T. Okuda, H. Namatame, M. Taniguchi, Y. Ueda, A. Kimura, "Experimental verification of the surface termination in the topological insulator TlBiSe_2 using core-level photoelectron spectroscopy and scanning tunneling microscopy," *Phys. Rev. B*, 査読有, vol.88, 2013, art.no.245308/pp.1-7.
6. K. Ito, T. Sanai, S. Zhu, Y. Yasutomi, K. Toko, S. Ueda, Y. Takeda, Y. Saitoh, Y. Imai, A. Kimura, T. Suemasu, "Electronic structures and magnetic moments of Co_3FeN thin films grown by molecular beam epitaxy," *Appl. Phys. Lett.*, 査読有, vol.103, 2013, art.no.232403/pp.1-4.
7. T. Okuda, T. Maegawa, M. Ye, K. Shirai, T.

- Warashina, K. Miyamoto, K. Kuroda, M. Arita, Z. S. Aliev, I. R. Amiraslanov, M. B. Babanly, E. V. Chulkov, S. V. Eremeev, A. Kimura, H. Namatame, M. Taniguchi, "Experimental Evidence of Hidden Topological Surface States in PbBi_4Te_7 ," *Phys. Rev. Lett.*, 査読有, vol.111, 2013, art.no.206803/pp.1-5.
8. M. Baba, K. Ito, W. Du, T. Sanai, K. Toko, K. Okamoto, A. Kimura, S. Ueda, Y. Imai, T. Suemasu, "Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy Study on Valence Band Structure of Semiconducting BaSi_2 ," *J. Appl. Phys.*, 査読有, vol.114, 2013, art.no.123702/pp.1-4.
9. A. Kimura, M. Ye, M. Taniguchi, E. Ikenaga, J. M. Barandiarán, V. A. Chernenko, "Lattice instability of Ni-Mn-Ga ferromagnetic shape memory alloys probed by hard X-ray photoelectron spectroscopy," *Appl. Phys. Lett.*, 査読有, vol.103, 2013, art.no.072403/pp.1-4.
10. M. Nurmatamat, E. E. Krasovskii, K. Kuroda, M. Ye, K. Miyamoto, M. Nakatake, T. Okuda, H. Namatame, H. Namatame, M. Taniguchi, E. V. Chulkov, K. A. Kokh, O. E. Tereshchenko, A. Kimura, "Unoccupied topological surface state in $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}$," *Phys. Rev. B*, 査読有, vol.88, 2013, art.no.081301(R)/pp.1-5.
11. N. H. Jo, K. J. Lee, C. M. Kim, K. Okamoto, A. Kimura, K. Miyamoto, T. Okuda, Y. K. Kim, Z. Lee, T. Onimaru, T. Takabatake, M. H. Jung, "Tuning of magnetic and transport properties in Bi_2Te_3 by divalent Fe doping", *Phys. Rev. B*, 査読有, vol.87, 2013, art.no.201105(R)/pp.1-5.
12. M. Ye, K. Kuroda, Y. Takeda, Y. Saitoh, K. Okamoto, S. Y. Zhu, K. Shirai, K. Miyamoto, M. Arita, M. Nakatake, T. Okuda, Y. Ueda, K. Shimada, H. Namatame, M. Taniguchi, A. Kimura, "Perpendicular magnetic anisotropy with enhanced orbital moments of Fe adatoms on a topological surface of Bi_2Se_3 ," *J. Phys.: Condens. Matter*, 査読有, vol.25, 2013, art.no.232201/pp.1-5.
13. T. Okuda, A. Kimura, "Spin- and Angle-Resolved Photoemission of Strongly Spin-Orbit Coupled Systems," *J. Phys. Soc. Jpn.*, 査読有, vol.82, 2013, 021002/pp.1-37.
14. Y. Chieda, T. Kanomata, R. Y. Umetsu, H. Okada, H. Nishihara, A. Kimura, M. Nagasako, R. Kainuma, K. R. A. Ziebeck, "Magnetic phase diagram of Heusler alloys $\text{Pd}_2\text{Mn}_{1+x}\text{Sn}_{1-x}$ " *J. Alloys Compd.*, 査読有, vol.554, 2013, pp. 335-339.
15. 木村昭夫, トポロジカル絶縁体のスピン物性と将来展望 (トピックス), *日本磁気学会誌「まぐね」* 第8巻, 査読有, 2013, pp.24-30.
16. T. Ueno, M. Sawada, Y. Kishimizu, A. Kimura, H. Namatame, M. Taniguchi, "End station for nanoscale magnetic materials study: Combination of scanning tunneling microscopy and soft X-ray magnetic circular dichroism spectroscopy," *Rev. Sci. Instrum.*, 査読有, vol.83, 2012, art.no.123903/pp.1-6.
17. K. Okamoto, K. Kuroda, H. Miyahara, K. Miyamoto, T. Okuda, Z. S. Aliev, M. B. Babanly, I. R. Amiraslanov, K. Shimada, H. Namatame, M. Taniguchi, D. A. Samorokov, T. V. Menshchikova, E. V. Chulkov, A. Kimura, "Observation of a Highly Spin Polarized Topological Surface State in GeBi_2Te_4 ," *Phys. Rev. B*, 査読有, vol.86, 2012, art.no.195304/pp.1-5.
18. K. Miyamoto, A. Kimura, T. Okuda, K. Shimada, H. Iwasawa, H. Hayashi, H. Namatame, M. Taniguchi, and M. Donath, "Massless or heavy due to two-fold symmetry: Surface-state electrons at $\text{W}(110)$," *Phys. Rev. B*, 査読有, vol.86, 2012, art.no.161411(R)/pp.1-5.
19. K. Miyamoto, A. Kimura, T. Okuda, H. Miyahara, K. Kuroda, H. Namatame, M. Taniguchi, S. V. Eremeev, T. V. Menshchikova, E. V. Chulkov, K. A. Kokh, and O. E. Tereshchenko, "Topological Surface States with Persistent High Spin Polarization across the Dirac Point in $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}$ and $\text{Bi}_2\text{Se}_2\text{Te}$," *Phys. Rev. Lett.*, 査読有, vol.109, 2012, art.no.166802/pp.1-5 (Oct. 17, 2012).
20. T. Kanomata, Y. Chieda, H. Okada, H. Nishihara, A. Kimura, M. Nagasako, R. Y. Umetsu, R. Kainuma, K. R. A. Ziebeck, "Martensitic transition of Mn-rich Pd-Mn-Sn alloy," *J. Alloys Compd.*, 査読有, vol.541, 2012, pp.392-395.
21. K. Ito, K. Okamoto, K. Harada, T. Sanai, K. Toko, S. Ueda, Y. Imai, T. Okuda, K. Miyamoto, A. Kimura, and T. Suemasu, "Negative spin polarization of Fe_4N epitaxial films by spin-resolved photoelectron spectroscopy," *J. Appl. Phys.*, 査読有, vol.112, 2012, art.no.013911/pp.1-4.
22. T. Ueno, M. Sawada, K. Furumoto, T. Tagashira, S. Tohoda, A. Kimura, S. Haraguchi, M. Tsujikawa, T. Oda, H. Namatame, M. Taniguchi, "Interface atomic structures and magnetic anisotropy of Fe and Pd/Fe monatomic films on $\text{Pd}(001)$," *Phys. Rev. B*, 査読有, vol.85, 2012, art.no.224406/pp.1-10.
23. M. Ye, S. V. Eremeev, K. Kuroda, E. E. Krasovskii, E. V. Chulkov, Y. Takeda, Y. Saitoh, K. Okamoto, S. Y. Zhu, K. Miyamoto, M. Arita, M. Nakatake, T. Okuda, Y. Ueda, K. Shimada, H. Namatame, M. Taniguchi, A. Kimura, "Quasiparticle interference on the surface of Bi_2Se_3 induced by cobalt adatom in the absence of ferromagnetic ordering," *Phys. Rev. B*, 査読有, vol.85, 2012, art.no.205317/pp.1-5.
24. K. Kuroda, H. Miyahara, M. Ye, S. V. Eremeev, Y. M. Koroteev, E. E. Krasovskii, E. V. Chulkov, S. Hiramoto, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, K. Miyamoto, T. Okuda, M. Arita, K. Shimada, H. Namatame, M. Taniguchi, Y. Ueda, and A. Kimura, "Experimental verification of PbBi_2Te_4 as a 3D topological insulator," *Phys. Rev. Lett.*,

- 査読有, vol.108, 2012, art.no.206803/pp.1-5.
25. H. Miyahara, T. Maegawa, K. Kuroda, A. Kimura, K. Miyamoto, H. Namatame, M. Taniguchi, T. Okuda, "Observation of Peculiar Rashba-Type Spin-Split Band on Bi(111) Surface by High-Resolution Spin- and Angle-Resolved Photoemission Spectroscopy," e-J. Surf. Sci. Nanotech., 査読有, vol.10, 2012, pp.153-156.
 26. K. Miyamoto, A. Kimura, K. Kuroda, T. Okuda, K. Shimada, H. Namatame, M. Taniguchi, M. Donath, "Spin-Polarized Dirac-Cone-Like Surface State with d Character at W(110)," Phys. Rev. Lett., 査読有, vol.108, 2012, art.no.066808/pp.1-5.
 27. T. Okuda, K. Miyamoto, H. Miyahara, K. Kuroda, A. Kimura, H. Namatame, M. Taniguchi, "Efficient spin resolved spectroscopy observation machine at Hiroshima Synchrotron Radiation Center," Rev. Sci. Instrum., 査読有, vol.82, 2011, art.no.103302/pp.1-7.
 28. K. Ito, K. Harada, K. Toko, M. Ye, A. Kimura, Y. Takeda, Y. Saitoh, H. Akinaga, T. Suemasu, "X-ray magnetic circular dichroism of ferromagnetic Co_4N epitaxial films on $\text{SrTiO}_3(001)$ substrates grown by molecular beam epitaxy," Appl. Phys. Lett., 査読有, vol.99, 2011, art.no. 252501/pp.1-3.
 29. S. Kim, M. Ye, K. Kuroda, Y. Yamada, E. E. Krasovskii, E.V. Chulkov, K. Miyamoto, M. Nakatake, T. Okuda, Y. Ueda, K. Shimada, H. Namatame, M. Taniguchi, A. Kimura, "Surface Scattering via Bulk Continuum States in the 3D Topological Insulator Bi_2Se_3 ," Phys. Rev. Lett., 査読有, vol.107, art.no.056803/pp.1-4 (Jul.27, 2011).
 30. K. Ishizaka, M. S. Bahramy, H. Murakawa, M. Sakano, T. Shimojima, T. Sonobe, K. Koizumi, S. Shin, H. Miyahara, A. Kimura, K. Miyamoto, T. Okuda, H. Namatame, M. Taniguchi, R. Arita, N. Nagaosa, K. Kobayashi, Y. Murakami, R. Kumai, Y. Kaneko, Y. Onose and Y. Tokura, "Giant Rashba-type spin splitting in bulk BiTeI ," Nature Materials, 査読有, vol.10, 2011, pp.521-526.
 31. 木村昭夫, 放射光 ARPES でとらえるトポロジカル絶縁体の表面 Dirac Fermion(解説), 日本放射光学会誌 第 24 巻, 査読有, 2011, pp.188-199.

[学会発表](計 124 件)

1. A. Kimura, "Probing spin textures of three-dimensional topological insulators," Seminar at Institute of Semiconductor Physics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Mar. 26, 2014, Novosibirsk, Russia.
2. 木村昭夫, 放射光内殻磁気二色性分光を用いたスピン機能材料の研究, 平成 25 年度文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム事業 微細構造解析プラットフォーム 第 2 回利用研究セミナー, 2014 年 3 月 21 日, 姫路市.

3. 木村昭夫, 放射光 XMCD 分光測定による高スピン偏極材料の電子構造の研究, 日本真空学会 12 月研究例会 -薄膜・材料における反応・構造・電子状態の放射光による解析-, 2013 年 12 月 26 日, 兵庫県佐用郡.
4. A. Kimura, "Probing Spin Textures of Topological Surface States in Ternary Chalcogenides," The 60th Annual AVS International Symposium and Exhibition, Oct. 27-Nov. 1, 2013, Long Beach, USA.
5. 木村昭夫, トポロジカル絶縁体のスピン分解スペクトロスコピー, 千葉大学融合科学研究科ナノ物性コースセミナー, 2013 年 11 月 18 日, 千葉市.
6. 木村昭夫, トポロジカル絶縁体のスピン物性と将来展望, 物理学ゼミナール/自然界の構造・組織と物理ゼミナール, 2013 年 10 月 8 日, 熊本市.
7. 木村昭夫, 相変化材料にみるトポロジカル絶縁体, 第 2 回「表面科学の新展開を探る研究会, 2013 年 9 月 29 日, 奈良市.
8. 木村昭夫, Ge 系トポロジカル絶縁体新物質・多層膜, 日本物理学会 2013 年秋季大会 シンポジウム, 2013 年 9 月 27 日, 徳島市.
9. 木村昭夫, "Spin- and angle- resolved photoemission as a direct probe of spin textures in topological insulators", 日本磁気学会第 35 回学術講演会シンポジウム, 2013 年 9 月 3 日-6 日, 札幌市.
10. A. Kimura, "Spin- and angle- resolved photoemission as a direct probe of spin textures in topological insulators," IMS workshop on Advanced Spectroscopy of Correlated Materials, Aug. 2-4, 2013, Okazaki, Japan.
11. A. Kimura, "Probing spin textures of topological surface states in ternary chalcogenides," The 14th International Conference on Formation of Semiconductor Interfaces, Jun. 30-July 5, 2013, Gyeongju, South Korea.
12. A. Kimura, "Topological Insulators: A potential route to laser-assisted topological transition in phase change materials," The 13th Fundamentals of Laser Assisted Micro & Nanotechnologies Symposium, Jun. 24-28, 2013, St. Petersburg, Russia.
13. 木村昭夫, スピン分解光電子分光で捉えるトポロジカル絶縁体の表面電子状態, 九州表面・真空研究会, 2013 年 6 月 15 日, 福岡市.
14. A. Kimura, "Probing spin textures of topological surface states in ternary chalcogenides," 7th ISSP International Workshop and Symposium on Emergent Quantum Phases in Condensed Matter, Jun. 12-14, 2013, Kashiwa.
15. A. Kimura, "Probing spin textures of topological insulators by spin- and angle-resolved photoemission," Workshop on New Trends in Topological Insulators, Jun. 3-6, 2013, Sant Feliu de Guixols, Barcelona, Spain.
16. A. Kimura, "Probing spin textures of

topological insulators by spin- and angle-resolved photoemission,” V. V. Nemoshkalenko Memorial Conference and Workshop: Electronic Structure and Electron Spectroscopies, May. 21-23, 2013, Kiev, Ukraine.

17. A. Kimura, “Spin resolved photoemission as a direct probe of spin textures for Rashba systems and topological insulators,” CMSI Topical meeting, Feb. 18, 2013, Kanazawa.

18. A. Kimura, “Topological Insulators: Experimental Realization and Future Spintronic Applications,” The 3rd SRC Winter Workshop on Topological Matter, Feb. 5th, 2013, Muju, South-Korea.

19. A. Kimura, “Spin Polarizations of Topological Surface States in Ternary Chalcogenides Probed with High Momentum- and Energy- Resolutions,” 2013 EMN West Meeting, Jan. 9th, 2013, Houston, USA.

20. 木村昭夫, トポロジカル絶縁体のスピン物性と将来展望, 物性談話会, 2012 年 11 月 30 日, 名古屋市.

21. A. Kimura, “Topological Insulators: Experimental Confirmation and Perspective for Future Spintronics,” 12th Non-Volatile Memory Technology Symposium, Nov. 1st, 2012, Sentosa, Singapore.

22. A. Kimura, “Three-Dimensional Topological Insulators: Probing Spin Polarized Surface States and Perspective for Future Spintronics,” PAP Seminar, Oct. 31st, 2012, Nanyang Technological University, Singapore.

22. 木村昭夫, トポロジカル絶縁体の実験: 光電子分光の観点から, 日本物理学会 2012 年秋季大会 シンポジウム, 2012 年 9 月 18 日, 横浜市.

23. 木村昭夫, トポロジカル絶縁体のスピン偏極表面状態, 表面科学の新展開を探る研究会, 2012 年 8 月 10 日, 鳥取市.

24. 木村昭夫, トポロジカル絶縁体の実験研究, 日本学術振興会 先端ナノデバイス・材料テクノロジー第 151 委員会 平成 23 年度第 3 回研究会, 2012 年 3 月 19 日, 東京都文京区.

25. 木村昭夫, トポロジカル絶縁体表面の非磁性・磁性原子吸着効果, ISSP ワークショップ, 2012 年 2 月 24 日, 柏市.

26. 木村昭夫, 放射光 ARPES および STM でとらえる 3 次元トポロジカル絶縁体の Dirac Fermion, 第 31 回表面科学学術講演会放射光表面科学セッション, 2011 年 12 月 16 日, 東京都江戸川区.

27. A. Kimura, “Spin Textures on Strongly Spin-orbit Coupled Surfaces,” The 6th International Symposium on Surface Science, Dec. 12-15, 2011, Tower Hall Funabori, Tokyo.

28. 木村昭夫, 放射光 ARPES および STM でとらえる 3 次元トポロジカル絶縁体の Dirac Fermion 磁性分光研究会, 2011 年 12 月 03 日, 宇治市.

29. A. Kimura, “Manipulating the Dirac Fermions of the 3D Topological Insulators Studied by STM and Synchrotron Radiation ARPES,” 2011 Material Research Society Fall meeting, Nov.29, 2011, Hynes Convention Center, Boston, USA.

30. 木村昭夫, 放射光 ARPES でとらえる 3 次元トポロジカル絶縁体の Dirac Fermion, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 2011 年 9 月 23 日, 富山市.

31. 木村昭夫, トポロジカル絶縁体の電子構造とスピン物性, 第 10 回飯綱・サイエンスサマー道場, 2011 年 8 月 17 日, 長野市.

32. A. Kimura, “Experimental realization of a new family of 3D topological insulator in the ternary chalcogenides,” Korean Physical Society meeting, Apr. 13-15, 2011, Daejeong, South-Korea.

〔図書〕(計 1 件)

1. 木村昭夫, 光電子分光および内殻吸収分光から見たホイスラー合金の電子状態, 鹿又武編, 機能材料としてのホイスラー合金, 第 5 章, 内田老鶴園, 95-129 (2011).

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木村 昭夫 (KIMURA AKIO)
広島大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号: 00272534

(2) 研究分担者

奥田 太一 (OKUDA TAICHI)
広島大学・放射光科学研究センター・准教授
研究者番号: 80313120

(H23～H24: 研究分担者)

宮本 幸治 (MIYAMOTO KOUJI)
広島大学・放射光科学研究センター・助教
研究者番号: 50508067

(H23～H24: 研究分担者)

仲武 昌史 (NAKATAKE MASASHI)
広島大学・放射光科学研究センター・助教
研究者番号: 60342599

植田 義文 (UEDA TOSHIFUMI)
呉工業高等専門学校・電気情報工学科・教授

研究者番号: 10127615

(H23～H24: 研究分担者)

(3)連携研究者

()

研究者番号: