

平成 22 年 4 月 28 日現在

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2007～2009

課題番号：19340078

研究課題名 (和文) 高効率スピン偏極光電子分光による表面磁性の研究

研究課題名 (英文) Study of surface magnetism by using high-efficient spin-polarized photoelectron spectroscopy

研究代表者

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

研究成果の概要 (和文)： スピンを分離して電子状態を測定するスピン分解光電子分光法は従来のスピン分析法が非常に非効率であったため、測定に長時間かかるにも関わらずエネルギー、角度分解能を落として測定せざるを得なかった。そのためこれを用いた物質の磁性研究は必ずしも十分行えていなかった。本研究では新しく高効率のスピン分析器を開発し、その検出効率は従来の 100 倍に向上し、エネルギー角度分解能を格段に上げたスピン・角度分解光電子分光測定が可能となった。

研究成果の概要 (英文)： So far, spin-resolved photoemission measurement was very time consuming method because of the very low efficiency of the spin detector. Thus, the spin-resolved photoemission measurement with high energy- and angular-resolutions was impossible. In this project we have developed a new high-efficient spin-detector and combined with high-resolution photoelectron analyzer. More than 100 times higher efficiency has been achieved and the spin-resolved photoemission measurement with quite high energy- and angular resolutions has been realized.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	4,200,000	1,260,000	5,460,000
2008 年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2009 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
総計	7,800,000	2,340,000	10,140,000

研究分野：表面物性

科研費の分科・細目：物理学・物性 I

キーワード：スピン分解光電子分光法、高効率スピン検出器、VLEED 型スピン検出器、表面磁性、スピントロニクス

## 1. 研究開始当初の背景

(1) スピン分解光電子分光法は通常の方法に比べて 10000 倍も効率が悪く、高分解能での観測が非常に難しか

った。

(2) これまで普及している Mott 型スピン検出器とは異なる高効率のスピン検出法は報告されているが、大きな欠点がありその実際の

利用は困難であった。

(3)1999年に、この欠点を克服する可能性を示す方法がイタリアのグループから報告がされた。そのため我々は、この方法を用いて新たなスピン検出器を作成すれば高分解能スピン分解光電子分光を実現できる可能性があると考え本研究を開始した。

## 2. 研究の目的

新しいタイプのスピン検出器を開発し、既存の高分解能スピン“非”分解光電子分光装置と組み合わせることにより、高効率、高分解能のスピン・角度分解光電子分光装置を開発し、表面スピン、表面磁性の研究を推進する。

## 3. 研究の方法

研究はおおよそ以下の様な手順で行った。

(1) 新型装置の心臓部である高効率スピン検出器の開発を行い、性能評価を行う。

(2) 面内のみならず面直のスピンも検出できるように装置の改良、改造を行う。

(3) 更なる高効率化を目指し、最適なターゲットの作成技術の確立や新しいターゲットの探索を行う。

(4) スピンの3次元解析に向けて引き続き装置の改良、改造を行うとともに、完成した装置を用いて表面磁性、表面スピン電子物性の研究を遂行する。

## 4. 研究成果

本研究の結果、従来の100倍という大変高い検出効率を具備したスピン・角度分解光電子分光装置が完成した。これまでも高効率の検出器の報告があったが、本装置では用いるターゲット材料を最適化することにより長時間にわたって安定に測定が行えるようになり、初めて実用的な高効率スピン分解光電子分光装置が完成したことになる。またこの高効率を利用することにより従来は難しかった高エネルギー・角度分解能でのスピン分解光電子分光が可能となり、表面磁性、スピン電子物性の研究に大きな進展が得られるようになった。その結果を次項に示すように多数の学会や学術誌において発表した。本装置の与えるインパクトは国内のみならず海外でも大きく、海外からも様々な反響があった。

## 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8件)

1. “Spin-polarized surface bands of a three-dimensional topological insulator studied by high-resolution spin- and

angle-resolved photoemission spectroscopy”, A. Nishide, Y. Takeichi, T. Okuda, A. A. Taskin, T. Hirahara, K. Nakatsuji, F. Komori, A. Kakizaki, Y. Ando and I. Matsuda, New J. Phys. in press. 査読あり

2. “Direct spectroscopic evidence of spin-dependent hybridization between Rashba-split surface states and quantum-well states”, K. He, Y. Takeichi, M. Ogawa, T. Okuda, P. Moras, D. Topwal, A. Harasawa, T. Hirahara, C. Carbone, A. Kakizaki, and I. Matsuda, Phys. Rev. Lett. 104, 156805 (2010). 査読あり
3. “Direct mapping of the spin-filtered surface bands of a three-dimensional quantum spin Hall insulator”, A. Nishide, A. A. Taskin, Y. Takeichi, T. Okuda, A. Kakizaki, T. Hirahara, K. Nakatsuji, F. Komori, Y. Ando, and I. Matsuda, Phys. Rev. B 81, 041309(R)(2010). 査読あり
4. “Exchange splitting of the three Gamma surface states of Ni(111) from three-dimensional spin- and angle-resolved photoemission spectroscopy”, T. Okuda (他15名), Phys. Rev. B 80, 180404 (R) (2009). 査読あり
5. “High-efficiency and high energy-resolution spin-polarized photoemission spectrometer”, T. Okuda, Y. Takeichi, A. Harasawa, I. Matsuda, T. Kinoshita and A. Kakizaki, Eur. Phys. J.

Special Topics, **169**, 181–185 (2009).

査読あり

6. “A new spin-polarized photoemission spectrometer with very high efficiency and energy resolution”, T. Okuda, Y. Takeichi, Y. Maeda, A. Harasawa, I. Matsuda, T. Kinoshita, and A. Kakizaki, *Rev. Sci. Instrum.* **79**, 123117 (5 pages) (2008). 査読あり
7. “高効率スピン分解光電子分光装置の開発と表面研究への応用” 奥田太一、表面科学 30, 312–318 (2009). 査読なし
8. “スピン偏極光電子フェルミ面マッピング” : 奥田太一, 放射光 **20**, 159 (2007). 査読なし

[学会発表] (計 28 件)

1. 西出聡悟、柿崎明人 他 5 名、「スピン角度分解光電子分光による Pd(001) 上 Fe 超薄膜の電子状態の研究」第 65 回日本物理学会年会、岡山大学、2010. 3. 22
2. 奥田太一、「高分解能スピン分解光電子分光で探る、表面スピン電子状態」、第 27 回 PF シンポジウム、つくば国際会議場、2010. 3. 10 (招待講演)
3. T. Okuda, “Development of New High-resolution and High-throughput Spin- and Angle-resolved Photoelectron Spectroscopy”, 14<sup>th</sup> Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, Hiroshima University, Higashi-Hiroshima, Japan,

4<sup>th</sup> March, 2010.

4. T. Okuda, “Development and applications of high-efficient spin-resolved photoelectron spectroscopy,” Symposium of Surface and NanoScience 2010 (SSNS-10), Shizukuishi, Japan, 17th Jan. 2010. (Invited)
5. 長谷川隆英、奥田太一、他 4 名、「 $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{MgO}(001)$  薄膜の電子状態の研究」、日本放射光学会年会、姫路、2010. 1. 8
6. 奥田太一、「スピン分解光電子分光の新展開、COPHEE から ESPRESSO へ」、東大物性研短期研究会、千葉県柏市、2009. 12. 18 (招待講演)
7. Y. Takeichi, T. Okuda, A. Kakizaki (他 5 名), “Spin-split electronic structures of non-magnetic surfaces observed by high-efficiency spin- and angle-resolved photoelectron spectroscopy”, 488. Wilhelm-Elise Heraeus Seminar, Ringberg Castle, Germany, 23<sup>rd</sup>, Nov. 2009.
8. 武市康男、奥田太一、柿崎明人 他 5 名, “Spin-split electronic structures of non-magnetic surfaces observed by high-efficiency spin- and angle-resolved photoelectron spectroscopy (SARPES)”, 物構研シンポジウム’09、つくば市 2009. 11. 18
9. 奥田太一、「高分解能スピン分解光

- 電子分光法による半導体表面・超薄膜のスピン分電子状態」、第29回表面科学会、東京、2009.10.29(招待講演)
10. 西出聡悟, 奥田太一、柿崎明人、松田巖 他9名、「トポロジー絶縁体  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$  合金 ( $x=0.04, 0.13$ ) 電子状態のSbドーパ量依存性に対する研究」、日本物理学会秋季大会、熊本大学、2009.9.27
  11. T. Okuda, “Development and Applications of a Novel Spin-resolved Photoemission Spectrometer with High Efficiency”, Seminar in Festkoerperphysik of Physic Institute of Zurich University, Universitat Zurich, Zurich, Switzerland, 16<sup>th</sup> Sept. 2009.
  12. 武市康男、奥田太一、松田巖、柿崎明人 他2名、「スピン・角度分解光電子分光による ( $\sqrt{3x}\sqrt{3}$ )  $\text{BiAg}/\text{Ag}$  量子薄膜の研究」、第64回日本物理学会年会、立教大学、2009.3.30
  13. 長谷川隆英、奥田太一、松田巖、柿崎明人 他2名、「高効率スピン分解光電子分光による  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{MgO}(001)$  薄膜の研究」、第64回日本物理学会年会、立教大学、2009.3.29
  14. 西出聡悟, 奥田太一、柿崎明人、松田巖 他5名、「高分解能スピン分解光電子分光による  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$  量子スピンホール相の研究」、第64回日本物理学会年会、立教大学、2009.3.27
  15. 武市泰男, 奥田太一, 原沢あゆみ, 松田巖, 木下豊彦, 柿崎明人、「超低速電子線回折を用いた高効率スピン分解光電子分光実験装置の開発」、第26回PFシンポジウム、つくば国際会議場、2009.3.25
  16. T. Okuda, "Development and Applications of A New Spin-polarized Photoemission Spectrometer with High Efficiency and Energy Resolution", 13th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, Higashi-Hiroshima, 11th, March, 2009.
  17. A.Kakizaki, “A New Spin-Polarized Photoemission Spectrometer Adopting VLEED”, Symposium of Surface and NanoScience 2009 (SSNS-09), Shizukuishi, Japan, 29th Jan. 2009.
  18. 武市康男、奥田太一 他4名、「超低速電子線回折を用いた高効率スピン分解光電子分光実験装置の開発」、日本放射光学会年会、東京大学、2009.1.11
  19. 奥田太一, 「高分解能スピン分解型光電子分光による表面Rashba効果研究の新展開」 PF研究会「高分解能角度分解光電子分光研究と将来展望」、KEK-PF, 12.18, 2008. (依頼講演)
  20. T. Okuda, “New Synchrotron Radiation-based Techniques for Surface and Nanoscience”, Frontiers in NanoScience and Technology, Multi-dimension Seminar, JAIST,

Kanazawa, 20<sup>th</sup> Nov. 2008. (Invited)

21. 奥田太一 他 6 名、「高分解能スピン偏極光電子分光装置の開発」表面科学学術講演会、早稲田大学、2008. 11. 14
22. 武市康男、奥田太一、他 4 名「Rashba 効果により Ag 薄膜に誘起されたスピン偏極した量子井戸状態—スピン・角度分解光電子分光」、表面科学会学術講演会、早稲田大学、2008. 11. 14
23. T. Okuda, A. Kakizaki (他 4 名), “High-efficient and high energy-resolution spin-polarized photoemission spectrometer”, 21<sup>st</sup> international conference on X-ray and Inner-Shell Processes, Paris, France, 23<sup>rd</sup>, June, 2008
24. 武市康男、奥田太一、他 4 名、「超低速電子線回折を用いた高効率スピン分解光電子分光装置の開発II」第 63 回日本物理学会年会、近大、2008. 3. 24
25. 奥田太一, 「スピン分解光電子分光による金属表面・超薄膜の Rashba 効果の研究」、奥田太一、第 58 回表面科学研究会「Rashba 効果とナノスピントロニクス」東大本郷キャンパス、2008.3.10,
26. 武市康男、奥田太一、他 4 名、「超低速電子線回折を用いた高効率スピン分解光電子分光装置の開発」日本物理学会秋季大会、北大、2007. 9. 23

27. 奥田太一, 「新しいスピン分解光電子分光の開発とその現状」、物性研短期研究会「高輝度軟X線放射光が拓く物質科学の新たな地平」、東大物性研、2007.7.5.

28. T. Okuda, “Observation of Rashba spin-splitting in low-dimensional system by Spin-polarized photoemission”, Japan-France seminar, SOLEIL, Paris, France, 23<sup>rd</sup> May 2007.

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

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

##### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

##### (3) 連携研究者

松田 巖 (MATSUDA IWAO)  
東京大学・物性研究所・准教授  
研究者番号：00343103  
[H19→H20]研究分担者

柿崎 明人 (KAKIZAKI AKITO)  
東京大学・物性研究所・教授  
研究者番号：60106747  
[H19→H20]研究分担者