

平成 30 年 7 月 31 日現在

機関番号：14603

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化）

研究期間：2016～2017

課題番号：15KK0167

研究課題名（和文）逆光電子回折現象を利用したバルク敏感性可変原子構造解析法の確立と応用（国際共同研究強化）

研究課題名（英文）Development and Application of Bulk Sensitivity Controllable Atomic Structure Analysis Method by "Inverse Photoelectron Diffraction"(Fostering Joint International Research)

研究代表者

松井 文彦（Matsui, Fumihiko）

奈良先端科学技術大学院大学・物質創成科学研究科・准教授

研究者番号：60324977

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 7,300,000円

渡航期間： 6ヶ月

研究成果の概要（和文）：エネルギー損失電子の角度分布中の光電子回折模様とは真逆のネガコントラスト発現の定量的理解、その測定装置の整備、その現象を応用したバルクと表面の統合的な原子構造解析研究の成果を国際共同研究の枠組みで発展させた。国際共同研究ではスイス放射光施設の光電子回折専用ビームラインを拠点に元素選択性に関する吸収端近傍でのエネルギー損失スペクトルなどの高エネルギー分解能測定をすすめた。光電子回折から適切にエネルギー損失電子回折のバックグラウンドを除去する重要性を示した点で、局所原子構造解析の信頼性の向上に寄与するものであった。国際共同研究を通じ、こうした知見を広めることに努めた。

研究成果の概要（英文）：Quantitative understanding of negative contrast pattern of photoelectron diffraction pattern in energy loss electron angle distribution, development of detectors for such phenomena, and application to bulk and surface atomic structure analysis, were pursued in the framework of the present international collaborative research. In this project, energy loss electron angle distribution was measured with high energy resolution. This experiment was carried out with a beamline dedicated to photoelectron diffraction of the synchrotron radiation facility in Switzerland. We believe that we achieved in contributing to the improvement of the reliability of local atomic structure analysis by showing the importance of appropriately removing the background of energy loss electron diffraction from photoelectron diffraction. Through international collaborative research, we have disseminated such knowledge.

研究分野：表面物性物理学

キーワード：光電子回折 Auger電子回折 原子構造 放射光・軟X線 表面・界面 非弾性散乱過程

1. 研究開始当初の背景

光電子分光は今や物性研究には欠かせない。内殻励起で得られる元素選択的な情報は、表面吸着種や結晶中のドーパント原子に関する局所的な構造や物性を調べるうえで重要である。内殻光電子スペクトルには化学組成や電子状態が反映されている。また光電子 2 次元角度分布には原子軌道の対称性と局所原子配列に由来する光電子回折模様が現れる。

光電子分光による研究の最近の世界的な動向として、硬X線光電子分光によるバルク敏感な電子状態の研究の急速な展開が挙げられる。高エネルギー電子の非弾性平均自由行程は長いので、表層下に埋もれたバルクの情報が引き出せるのである。しかし、硬X線光電子分光では、入射角・分析器の位置・光エネルギーの自由度が非常に限られているため、光電子回折への展開は研究開始当初未開拓領域であった。

私たちは、エネルギー損失電子の角度分布に、励起源の偏光や種類(光・電子)に関わらず、光電子回折模様とは真逆のネガコントラスト模様が発見することを見出し、逆光電子回折と名付けた。光電子回折の検出深度は電子の非弾性散乱平均自由行程によって決まり、軟X線励起の場合は表面敏感になる。他方、逆光電子回折の場合は電子が結晶を通過する際に吸収される積算量が負のコントラストとなるため、検出深度が比較的大きくなり、バルクの情報を含むようになる。これまで光電子分光の解析を邪魔する厄介者に過ぎなかったエネルギー損失電子の角度分布を測定することで、硬X線光電子分光で要求される高エネルギーの施設・高電圧の装置を用いずとも、バルクの結晶のプロブ深さが選択可能なユニークな原子構造解析が行える可能性が出てきた。基課題では逆光電子回折現象の定量的理解、そのための測定装置の整備、この現象を応用したバルクと表面の統合的な原子構造解析研究を3本柱とした。

2. 研究の目的

本課題では基課題で得られた成果をチューリヒ大学・スイス放射光施設国際共同研究の枠組みで発展させることを目的とした。

(1)逆光電子回折効果の定量的解析

種々の結晶試料にて光電子回折と非弾性散乱電子回折模様を測定し、逆光電子回折

効果と脱出深度の関係を系統的に調べた。また、エネルギー損失電子は励起原子の原子番号の情報が失われた非元素選択的なプローブである。ただし、各内殻準位の吸収端の前後の運動エネルギーの条件を利用すれば、電子を吸収する原子の元素選択的な情報が得られる。SPring-8にて化合物単結晶 MoSe_2 を用い、励起光エネルギーに依存した元素選択性を見出した。国際共同研究では Swiss Light Source の光電子回折専用ビームライン (PEARL) を拠点に元素選択性に関する吸収端近傍でのエネルギー損失スペクトルなどの高エネルギー分解能測定をすすめた。

(2)バルク敏感局所立体原子配列解析装置開発

光電子やエネルギー損失電子の 2 次元角度分布測定にはバンドパス型の表示型電子分析器が必須である。これまで私達は SPring-8 BL25SU に 2 次元光電子分光ステーションを設置し、光電子回折の研究を進めてきた。同時に、2本目の柱として、新たに放射光施設および実験室ベースで走査電子顕微鏡装置に組み込めるようなコンパクト表示型電子分析器の R&D を進めてきた。

国際共同研究では PEARL に設置するコンパクト表示型電子分析器の製作を進めた。

(3)表面・界面・ドーパントの局所構造研究

基課題では、光電子回折から適切にエネルギー損失電子回折のバックグラウンドを除去する重要性を示した点で、局所原子構造解析の信頼性の向上に寄与するものであった。国際共同研究を通じ、こうした知見を広めるのも本課題の目的である。

3. 研究の方法

半球の光電子回折及びエネルギー損失電子回折模様の測定には表示型電子分析器が適している。基課題では SPring-8 BL25SU に設置し、メンテナンスを続けてきた装置を用いた。本来、エネルギー損失電子回折模様(ネガコントラスト模様)は運動エネルギーによって変化し、主光電子ピークからのエネルギー差によって出方が変わるが、エネルギー分解能が十分でない分析器でも測定ができる。ただし、このネガコントラスト模様の影響を除去するにはエネルギー分解能の良い分析器で光電子スペクトルを各方位で測定しながらデータ処理をする必要がある。

2014年度 BL25SU 改良工事のシャットダウン期間中は Swiss Light Source にて建設協力を行った光電子回折専用ビームライン PEARL にて相補的なデータ取得を行った。国際共同研究強化課題にてここでの成果を発展させる機会となった。また、BL25SU の次期分析器として新たに小型高性能電子分析器を開発してきた。試料は III-V 半導体や遷移金属ジカルコゲナイド層状物質を中心に複数の元素種からなる単結晶からの光電子角度分布について調べた。応用として希薄にドーパされた原子の局所構造を調べる際の正確なバックグラウンド除去の指針となった。

4. 研究成果

本国際共同研究では、実験拠点(スイス新規光電子回折ビームライン[PEARL])にて見出された新規物理現象解明と光電子ホログラムの高効率投影型分析器[PESCATORA]開発を軸に、原子レベルでの表面・界面物性研究を推進した。また研究成果の交流の機会として国際会議のサテライトを主催したり、共同研究者とともに国際会議に招致されたりするなどの成果があった。2016年および2017年に本務の授業のない夏から秋にかけ3カ月ずつスイスに滞在し、共同研究を進めた。

- (1) 3年に一度開催されている国際会議 VUVX2016 がチューリッヒ ETH で開催された。実行委員に知己が多いこともあり、局所原子構造・電子状態の研究に関するサテライトワークショップを主催する機会を得た。本課題のスイス側の共同研究者 Matthias Muntwiler 博士 (Paul Scherrer Institut) とともにチューリッヒ大学を会場に国際ワークショップを共同開催し、関連する欧米各国の研究者に呼びかけ研究交流を行った。
- (2) 光電子回折ビームライン PEARL の光軸・分析器調整を進め、光電子回折の共同実験を成功させた。分析器開発で得ていた知見がこの調整作業に役立ち、光軸のずれの評価と光学系最適化を行った。その結果角度分解能とエネルギー分解能の向上を達成し、信頼性のある光電子回折測定が日常的に進められるようになった。
- (3) PESCATORA 設置の真空ポートを決定し、それに合わせ分析器の製作を進めた。出口スリ

ットの代わりにコリメータを用いた新原理に基づく飛行機でも可搬の手のひらサイズの小型分析器を開発・製作。単結晶グラファイトからの電子回折模様と Auger スペクトルの取得を通じ、新規分析器の実証実験に成功した。2016年7月に国際特許を申請した。新規分析器 PESCATORA の展開を進めた。欧州での製作についてメーカーと打ち合わせを行っている。国際特許のドイツ・米国への権利移行を行った。

- (4) エネルギー損失電子回折の理論研究を共同で進めてきた Dr. A.Winkelmann や Prof.A.Chasse らとも引き続き研究交流を続けている。
- (5) 共同研究者 Muntwiler 氏とともに表面構造に関する国際会議 ICSOS(Atlanta)で成果発表を行った。松井は招待講演を行い同国際会議の国際アドバイザーに就任した。
- (6) 共同研究の成果の一部を 2 報 Phys.Rev.B 誌から出版した。Auger 電子回折の円二色性という新規物理現象とグラファイトの k_z 分散に反映される原子軌道配列の解析法に関する基礎的に重要な研究である。他にも総説 4 報を含め多数の論文を執筆した。
- (7) ビームライン PEARL に申請していた3件の実験提案が採択され、1カ月にわたり実験を行った。Bi₂Se₃, TiO₂, SiC 表面およびバルクの結晶構造を解析した。
- (8) エネルギー損失電子回折の論文執筆を進めている。ステップのない 2H 構造を持つ MoSe₂ や MoS₂ 表面を用いると反転対称性のない原子配列の光電子回折を測定することができる。エネルギー損失電子回折がそれぞれの元素でどのように変化するか詳細に調べている。

5. 主な発表論文等 (研究代表者は下線) [雑誌論文] (計 20 件)

1. T. Matsushita, T. Muro, F. Matsui, N. Happo, S. Hosokawa, K. Ohoyama, A. Sato-Tomita, Y. C. Sasaki, K. Hayashi "Principle and Reconstruction Algorithm for Atomic-Resolution Holography" *J. Phys. Soc. Jpn.* **87** (2018) 061002-1-11 査読有
DOI: 10.7566/JPSJ.87.061002
2. F. Matsui, T. Matsushita, H. Daimon, "Holographic Reconstruction of Photoelectron Diffraction and Its Circular Dichroism for Local Structure Probing" *J. Phys. Soc. Jpn.* **87**

- (2018) 061004-1-11 査読有
DOI: 10.7566/JPSJ.87.061004
3. M. V. Kuznetsov, Ilya I. Ogorodnikov, Dmitry Yu. Usachov, Clemens Laubschat, Denis V. Vyalikh, F. Matsui, Lada V. Yashina "Photoelectron Diffraction and Holography Studies of 2D Materials and Interfaces" *J. Phys. Soc. Jpn.* **87** (2018) 061005-1-12 査読有
DOI: 10.7566/JPSJ.87.061005
 4. H. Ota, M. Shimomura, F. Matsui, "Separation of Surface- and Bulk-specific Ti L-edge XANES Spectra of Rutile (110) Surface" *J. Phys. Soc. Jpn.* **87** (2018) 013601-1-5 査読有
DOI: 10.7566/JPSJ.87.13601
 5. F. Matsui, H. Nishikawa, H. Daimon, M. Muntwiler, M. Takizawa, H. Namba, T. Greber, "The $4\pi k_z$ periodicity in photoemission from graphite" *Phys. Rev. B* **97** (2018) 045430-1-6 査読有
DOI: 10.1103/PhysRevB.97.045430
 6. D. Mori, Y. Fujita, T. Hirose, K. Murata, H. Tsuchida, F. Matsui, "Atomic characterization of nano-facet nitridation at SiC(1-100) surface" *Appl. Phys. Lett.* **112** (2018) 131603-1-4 査読有 DOI: 10.1063/1.5020098
 7. F. Matsui, H. Ota, K. Sugita, M. Muntwiler, R. Stania, T. Greber, "Parallel and antiparallel angular momentum transfer of circularly polarized light to photoelectrons and Auger electrons at the Ni L_3 absorption threshold" *Phys. Rev. B* **97** (2018) 035424-1-6 査読有
DOI: 10.1103/PhysRevB.97.035424
 8. S. Fukami, M. Taguchi, Y. Adachi, K. Watanabe, T. Kinoshita, T. Muro, T. Matsushita, F. Matsui, H. Daimon, T. T. Suzuki "Correlation Between High Gas Sensitivity and Dopant Structure in W-doped ZnO" *Phys. Rev. Applied* **7** (2017) 064029-1-6 査読有
DOI: 10.1103/PhysRevApplied.7.064029
 9. J. Sanchez-Barriga, I. I. Ogorodnikov, M. V. Kuznetsov, A. A. Volykhov, F. Matsui, C. Callaert, J. Hadermann, N. I. Verbitskiy, R. J. Koch, A. Varykhalov, O. Rader, L. V. Yashina "Observation of hidden atomic order at the interface between Fe and topological insulator Bi_2Te_3 " *Phys. Chem. Chem. Phys.* **19** (2017) 30520-1-13 査読有 DOI: 10.1039/c7cp04875k
 10. D. Mori, Y. Oyama, T. Hirose, T. Muro, F. Matsui, "Local structural determination of N at $\text{SiO}_2/\text{SiC}(000-1)$ interfaces by photoelectron diffraction" *Appl. Phys. Lett.* **111** (2017) 201603 査読有 DOI: 10.1063/1.4997080
 11. K. Tsutsui, T. Matsushita, K. Natori, T. Muro, Y. Morikawa, T. Hoshii, K. Kakushima, H. Wakabayashi, K. Hayashi, F. Matsui, T. Matsushita "Individual Atomic Imaging of Multiple Dopant Sites in As-doped Si Using Spectro-photoelectron Holography" *ACS Nano Lett.* **17** (2017) 7533 -7538 査読有
DOI: 10.1021/acs.nanolett.7b03467
 12. 松井文彦, "軌道磁気量子数計測:現象の理解と応用" *表面科学* **38** (2017) 542-547 査読有 DOI: 10.1380/jssj.38.542
 13. D. Oka, Y. Hirose, F. Matsui, H. Kamisaka, T. Oguchi, N. Maejima, H. Nishikawa, T. Muro, K. Hayashi, T. Hasegawa "Strain Engineering for Anion Arrangement in Perovskite Oxynitrides" *ACS Nano* **11** (2017) 3860-3866 査読有 DOI: 10.1021/acs.nano.7b00144
 14. 松井文彦, 大門寛, 松下智裕, "光電子ホログラフィーと顕微光電子回折分光" *触媒* **39** (2017) 76-81 査読有 <https://www.shokubai.org/jnl/pageview?articlecd=59020005000>
 15. 松井文彦, "一枚の写真 黒鉛を超伝導にするカリウム原子の並ぶ様子を可視化", *O plus E* **39** (2017) 231-232 査読無
<http://www.adcom-media.co.jp/bn/2017/02/24/25111/>
 16. M. Muntwiler, J. Zhang, R. Stania, F. Matsui, P. Oberta, U. Flechsig, L. Patthey, C. Quitmann, T. Glatzel, R. Widmer, E. Meyer, T. A. Jung, P. Aebi, R. Fasel, T. Greber "Surface science at the PEARL beamline of the Swiss Light Source", *J. Synchrotron Rad.* **24** (2017) 354-366 査読有
DOI: 10.1107/S1600577516018646
 17. F. Matsui, R. Eguchi, S. Nishiyama, M. Izumi, E. Uesugi, H. Goto, T. Matsushita, K. Sugita, H. Daimon, Y. Hamamoto, I. Hamada, Y. Morikawa, Y. Kubozono "Photoelectron Holographic Atomic Arrangement Imaging of Cleaved Bimetal-intercalated Graphite Superconductor Surface" *Scientific Reports* **6** (2016) 36258 査読有 DOI:10.1038/srep36258
 18. N. Maejima, M. Horita, H. Matsui, T. Matsushita, H. Daimon, F. Matsui "Interfacial atomic site characterization by photoelectron diffraction for 4H-AlN/4H-SiC(11-20) heterojunction" *Jpn. J. Appl. Phys.* **55** (2016) 085701 査読有 DOI: 10.7567/JJAP.55.085701
 19. K. Sugita, N. Maejima, H. Nishikawa, T. Matsushita, F. Matsui, "Development of Micro-Photoelectron Diffraction at SPring-8 BL25SU" *e-J. Surf. Sci. Nanotechnol.* **14** (2016) 59-62 査読有 DOI: 10.1380/ejssnt.2016.59
 20. F. Matsui, N. Maejima, H. Matsui, H. Nishikawa, H. Daimon, T. Matsushita, M. Muntwiler, R. Stania, Roland, T. Greber "Circular Dichroism in Cu Resonant Auger Electron Diffraction" *Zeitschrift für Physikalische Chemie* **230** (2016) 519-535 査読有
DOI: 10.1515/zpch-2015-0665
- 〔学会発表〕(計 35 件)
1. 松井文彦, 大門寛, 滝沢優, M. Muntwiler, T. Greber, "グラファイトの k_z 分散光電子構造因子による 4π 周期性" 日本物理学会第 73 回年次大会 2018.03.24, 千葉県野田市
 2. F. Matsui, H. Ota, Y. Fujita, T. Shimano, Y.

- Yoshida, D. Take, K. Sugita, Y. Oyama, T. Kishimoto, H. Nishikawa, H. Matsuda "PESCATORA: Projector for ESCA to Real Space Analysis" Atomic Level Characterization 2017.12.05, Kauai, USA
3. 松井文彦 "原子分解能ホログラフィーによる層状物質の局所構造解析" 第 11 回 物性科学領域横断研究会(招待講演)2017.11.17, 東大物性研, 千葉県柏市
 4. F. Matsui[招待講演] "Site-specific Atomic Imaging and Electron Spectroscopy by Photoelectron Diffraction" International Conference on Structure of Surface 2017.07.24, Atlanta, USA
 5. 松井文彦[招待講演]"光電子回折を利用した局所構造と電子状態解析" 物性研短期研究会 2017.06.14 東大物性研, 千葉県柏市
 6. 松井文彦[招待講演]"光電子ホログラフィー" 新学術領域研究 3D活性サイト科学 春の学校 2017.06.10, 東京都千代田区
 7. 松井文彦, 太田紘志, 嶽太輔, 松下智裕, [招待講演] "光電子ホログラフィーによるグリーンマテリアルの表面局所構造研究" 応用物理学学会関西支部 平成 29 年度第1回講演会 2017.05.26 イーグレ姫路, 兵庫県姫路市
 8. 松井文彦[招待講演], "光電子回折によるサイト選択的分光研究" 日本物理学会年次大会 2017.03.17-20 阪大, 大阪府吹田市
 9. 藤田善樹, 森大輔, 大山悦樹, 松井文彦, "光電子回折法による 4H-SiC の表面局所終端の面方位依存性" 日本物理学会年次大会 2017.03.17-20 阪大, 大阪府吹田市
 10. 吉田善紀, 久保園芳博, 松下智裕, 松井文彦, "光電子回折法による MoSe₂(0001)表面の局所構造解析" 日本物理学会年次大会 2017.03.17-20 阪大, 大阪府吹田市
 11. 島野拓也, 小林夏野, 上野哲平, 松井文彦, "光電子回折による Ag ドープ Bi₂Se₃ の表面構造解析" 日本物理学会次大会 2017.03.17-20 阪大, 大阪府吹田市
 12. 和気崇, 太田紘志, 大門寛, M. Muntwiler, 松井文彦, 坂本一之, "X 線光電子回折による酸素吸着 Bi₂Se₃ の表面近傍原子構造解析" 日本物理学会年次大会 2017.03.17-20 阪大, 大阪府吹田市
 13. 田中一光, L. V. Yashina, 松井文彦, 田口宗孝, 松下智裕, 大門寛, "光電子回折による (Bi_{1-x}In_x)₂Se₃ の構造解析" 日本物理学会年次大会 2017.03.17-20 阪大, 大阪府吹田市
 14. 太田紘志, 轟直人, 松井文彦, "光電子・共鳴 Auger 電子回折による Pt/Ni/Pt(111)表面の原子構造解析" 日本物理学会年次大会 2017.03.17-20 阪大, 大阪府吹田市
 15. F. Matui, "Activities of photoelectron holography and development of apparatuses" Sweden-Japan Workshop 2017.03.15, Lund, Sweden
 16. F. Matsui, T. Kinoshita, T. Muro, T. Matsushita, M. Taguchi, H. Matsuda, Y. Kubozono H. Daimon "Atomic Holographic Imaging and Orbital Characterization by Photoelectron Diffraction" MAX- IV User Meeting 2017.03.13-15 Lund, Sweden
 17. H. Ota, N. Todoroki, T. Wadayama, F. Matsui, "Analysis of Ni/Pt(111) surface structure by photoelectron and resonant Auger electron" Symposium on Surface and Nano Science 2017.1.11-15 New Furano Prince Hotel 北海道富良野市
 18. Y. Hashimoto, F. Matsui, M. Taguchi, H. Matsuda, T. Matsushita, H. Daimon, "Atomic-site Selective Spectroscopy (SX-, HX-PES, XAS and XMCD) on Fe₃O₄" Symposium on Surface and Nano Science 2017.1.11-15 New Furano Prince Hotel 北海道富良野市
 19. 松井文彦[招待講演]"光電子ホログラフィーによる局所構造と電子状態の原子分解能解析" 日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム 2017.1.7-9 神戸芸術センター, 兵庫県神戸市
 20. 松井文彦, "光電子ホログラフィーの原子層科学への応用" 物性研短期研究会「原子層上の活性サイトで発現する局所機能物性」2016.12.20-21 東大物性研, 千葉県柏市
 21. 吉田善紀, Xiao Mio, 久保園芳博, 松下智裕, 松井文彦 "光電子回折法による MoSe₂ (0001)表面の局所構造解析", 物性研究所短期研究会「原子層上の活性サイトで発現する局所機能物性」2016.12.20-21 東大物性研, 千葉県柏市
 22. 嶽太輔, Mikk Lippmaa, 松下智裕, 太田紘志, 松井文彦 "光電子回折分光法による Rh ドープ SrTiO₃ 光触媒の原子構造解析" 物性研究所短期研究会「原子層上の活性サイトで発現する局所機能物性」2016.12.20-21 東大物性研, 千葉県柏市
 23. 藤田善樹, 大山悦輝, 松井文彦, 森大輔, "光電子回折法による 4H-SiC の表面終端局所構造の面方位依存性" 物性研究所短期研究会「原子層上の活性サイトで発現する局所機能物性」2016.12.20-21 東大物性研, 千葉県柏市
 24. 松井文彦 "光電子ホログラフィーによる黒鉛層間化合物表面の原子配列可視化", 日本学術振興会マイクロビームアナリシス第 141 委員会研究会 2016.12.5-6 奈良女子大, 奈良県奈良市
 25. 松井文彦[招待講演]"軌道磁気量子数計測:現象解明と手法応用", 2016 真空・表面科学合同講演会 2016.11.29-12.1 名古屋国際会議場, 愛知県名古屋市
 26. 橋本由介, 大門寛, 松井文彦, 田口宗孝, 松田博之, 深見駿, 田中一光, 岡本隆志, 米田允俊 "Verwey 転移温度前後でのマグネタイトの X 線光電子円二色性" 真空・表面科学合同講演会 2016.11.29-12.1 名古屋国際会議場, 愛知県名古屋市
 27. 松井文彦 "光電子ホログラフィー-3D 原子構造イメージング", SLiT-J エンドステーション・

- デザインコンペ 2016.11.11-12 東大, 東京都文京区
28. 名取鼓太郎, 筒井一生, 松下智裕, 室隆桂之, 木下豊彦, 星井拓也, 角嶋邦之, 若林整, 松井文彦, 下村勝 "Si にドーブされた As の光電子ホログラフィーによる評価" 応用物理学会秋季学術講演会 2016.9.13-16 朱鷺メッセ, 新潟県新潟市
 29. F. Matsui, H. Ota, Y. Hashimoto, H. Daimon, T. Matsushita, M. Muntwiler, "Site-specific valence atomic orbital characterization of magnetic surfaces by angular-momentum-polarized Auger electrons", VUVX2016 2016.7.4-8, Zürich, Switzerland
 30. S. Fukami, Y. Adachi, I. Sakaguchi, K. Watanabe, T. Kinoshita, T. Muro, T. Matsushita, M. Taguchi, F. Matsui, H. Daimon, T.T. Suzuki "Atomic structure analysis around doped W atom in ZnO thin film by photoelectron diffraction" VUVX 2016 2016.7.4-8, Zürich, Switzerland
 31. H. Ota, M. Muntwiler, F. Matsui, "Characterization of photocatalytic electronic state of rutile(110) subsurface by resonant Auger electron diffraction", VUVX2016 2016.7.4-8, Zürich, Switzerland
 32. F. Matsui, "Diffraction Spectroscopy as an alternative way of using photoelectron diffraction", VUVX2016 satellite symposium 2016.6.30, Zürich, Switzerland
 33. S. Fukami, Y. Adachi, I. Sakaguchi, K. Watanabe, T. Muro, T. Matsushita, M. Taguchi, F. Matsui, H. Daimon, T.T. Suzuki "Temperature dependence of atomic structure around doped W atom in ZnO thin film studied by photoelectron diffraction", VUVX2016 satellite symposium 2016.6.30, Zürich, Switzerland
 34. T. Kinoshita, T. Muro, H. Daimon, F. Matsui, M. Shimomura, M. Kouguchi, M. Taguchi, T. Yokoya, T. Wakita, K. Terashima, H. Matsuda, T. Matsushita "Time-resolved atomic imaging of 3D active site by micro-photoelectron holography at SPring-8", VUVX2016 satellite symposium 2016.6.30, Zürich, Switzerland
 35. F. Matsui (招待講演) "Characterization of Valence Band Atomic Orbitals by Detection of Circularly-Polarized-Light Excited Angular-Momentum-Polarized Auger electrons" MPG seminar (Prospects and Limitations of Electronic Structure Imaging by Angle Resolved Photoemission Spectroscopy) 2016. 4.25 Dresden, Germany

〔図書〕(計 2 件)

1. "Compendium of Surface and Interface Analysis" Springer International Publishing AG (2018)
"Chapter 7 Auger electron Spectroscopy"
F. Matsui

"Chapter 73 Photoelectron Diffraction"

F. Matsui and T. Matsushita

"Chapter 74 Photoelectron Holography"

T. Matsushita and F. Matsui

2. 大門寛・佐々木裕次監修、丸善出版、"機能構造科学入門" (2016) 分担 p9-25

〔産業財産権〕

出願状況(計 1 件)

名称: コリメータを用いた平行ビーム発生装置及び平行ビーム収束装置

発明者: 松井文彦, 松田博之

権利者: 松井文彦, 松田博之

種類: 特許

番号: PCT/JP2016/070744

出願年月日: 平成 28 年 7 月 13 日

国内外の別: 外国

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松井 文彦 (MATSUI FUMIHIKO)

奈良先端科学技術大学院大学・物質創成科学研究科・准教授

研究者番号: 60324977

(2) 研究協力者

〔主たる渡航先の主たる海外共同研究者〕

Dr. Matthias Muntwiler (Paul Scherrer Institut, Swiss Light Source)

Prof. Thomas Greber (University of Zurich, Physik-Institut)