

尾嶋 正治

東京大学大学院 工学系研究科・教授

### 超高輝度放射光機能界面解析・制御ステーション

#### §1. 研究実施の概要

SPring-8 長尺アンジュレータからの超高輝度コヒーレント軟 X 線放射光を用いて、半導体ナノデバイス、磁性ナノデバイス、有機薄膜デバイスにおける界面構造を三次元的に解明すること、そして得られた結果に基づいて界面電子構造の制御・設計を行うこと、を目的として研究を実施した。

これまでの結果として、

- 1) 軟 X 線放射光ナノビームに対して試料を走査する「3次元ナノ ESCA 装置」の開発を行い、SPring8 の東京大学アウトステーションに設置し空間分解能 100 nm を達成した。また、Si-LSI におけるゲート部の光電子検出角度依存性を測定し、最大エントロピー解析による電子状態深さ方向分析、すなわち 3 次元解析が可能なことを実証した。
- 2) 高輝度放射光を用いた「投影型光電子顕微鏡 PEEM システム」によって半導体界面、金属/光触媒界面などの電子状態イメージングを行い、円偏光切り替えによって埋もれた磁性ナノ構造中の磁区構造動的变化を観測し、磁性デバイス開発の指針を得た。また、抵抗変化不揮発メモリー ReRAM のメカニズムを解明した。
- 3) ミクロンビーム軟X線を用いた発光分光法により深く埋もれたデバイス界面の微小部電子状態を調べ、有機物・高分子薄膜構造、絶縁体/半導体界面層を解明すると同時に、液体-液体界面の電子状態を解明する超高分解能発光分光装置(分解能 1 万)の開発を進めた。
- 4) 長尺アンジュレータからのコヒーレント軟X線を用いて埋もれた界面磁性層の磁区構造動的イメージングを可能にする装置を設計した。

これにより、デバイス構造の電子・化学・磁気構造を多角的に研究する装置が整備され、デバイス特性向上に直結する機能界面解析・制御ステーション構築に向けて進んでいる。

## §2. 研究実施体制

### (1)「3D ナノ ESCA」グループ

- ①研究分担グループ長:尾嶋 正治 (東京大学大学院工学系研究科、教授)
- ②研究項目(サブミクロン軟 X 線光電子分光による 3 次元解析法開発と界面制御)

### (2)「ナノビーム」グループ

- ①研究分担グループ長:雨宮 健太 (高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究機構、准教授)
- ②研究項目(サブミクロン軟 X 線ビームを用いたマイクロアナリシス法の開発)

### (3)「PEEM」グループ

- ①研究分担グループ長:木下 豊彦 (財団法人高輝度光科学研究センター(JASRI)・グループリーダー、主席研究員)
- ②研究項目(放射光光電子顕微鏡を用いた界面構造の動的解析と界面制御)

### (4)「マイクロ発光グループ」グループ

- ①研究分担グループ長:辛 埴 (東京大学物性研究所、教授)
- ②研究項目(マイクロ軟 X 線発光分光法による有機薄膜・吸着分子・固液界面の解析と界面制御)

### (5)「コヒーレント分光」グループ

- ①研究分担グループ長:小野 寛太 (高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究機構、准教授)
- ②研究項目(コヒーレント軟 X 線ホログラフィによる界面動的イメージングと界面制御)

### (6)「放射光界面解析」グループ

- ①研究分担グループ長:横谷 尚睦 (岡山大学大学院自然科学研究科、教授)
- ②研究項目(放射光軟 X 線光電子分光による機能性界面評価手法の開発と界面制御)

### §3. 研究実施内容

(文中の[A4]などの番号は(4-1)に対応する)

次世代の超高集積 LSI、超高密度磁気記憶システム、紫外線半導体レーザーなどの開発に向けて、ナノサイズの磁性体、極薄絶縁膜、有機薄膜、窒化物半導体薄膜の研究が進められている。しかし、これらのナノ機能性材料においては、デバイスの構造・物性、特に界面の状態は未知であり、デバイス信頼性の支配要因が不明という事態になっている。そのためデバイス作製と実際の動作状況に基づき特性評価というトライ&エラーを繰り返しながら勘と経験を頼りに開発を進めている状況が続いている。この様な「手探り」でのデバイス開発に甘んじている原因は、「ナノレベルでの評価手法が確立して(存在していない)いないこと」の一言に尽きる。次世代デバイス開発では、ナノレベルの大きさのデバイスの「界面」を評価することが重要である。本研究のねらいは「真に素子特性と相関づけられる界面電子状態の3次元分布をナノスケールの空間分解能でマッピングし、界面構造を制御した新構造素子を提案する」ことである。そのため、高輝度放射光を用いた解析、具体的には、3次元走査型光電子分光(3D ナノ ESCA)、マイクロビーム発光分光装置(マイクロ発光)、投影型光電子顕微分光(PEEM)、コヒーレント分光により、機能性界面の多角的、体系的な解析を進めている。

放射光ナノビームを用いた高い空間分解能( $x,y$ )と角度分解光電子分光データの最大エントロピー法解析を用いた深さ分解能( $z$ )を組み合わせることにより、ナノ構造体における界面評価技術の確立を目指して、3次元( $x,y+z$ )走査型光電子分光装置(図1)を現在開発中である。界面でのみ発現する強磁性層、金属的電導層、界面欠陥制御層(超巨大抵抗変化特性)、有機半導体劣化層などの化学状態・電子状態分布をあたかも断面 TEM 像を見るがごとくに描き出す3次元マッピング法は極めて応用性が高い。昨年度までに、SPring-8 BL07LSU において光学系の最適化や振動対策を行うことにより、放射光ナノビームを 100 nm 以下に集光し、2次元面内におけるナノレベルの電子状態分布を評価することが可能となった。今年度は、3次元目である深さ方向分布解析を実現するために、新たに取り込み角度  $60^\circ$  の超広角取り込み角度分解型アナライザの導入、および調整を行った。図2に新型アナライザで測定された、Si 基板上 2 nm 厚 SiON 薄膜における Si2p 内殻準位の光電子放出角度依存性の結果を示す。上図は光電子強度を放出角度とエネルギーの2次元イメージとして検出器に投影したデータであり、色の白い部分が光電子強度の強い部分を示している。運動エネルギー 761eV 付近の大きなピークが SiON 薄膜からのピーク、765eV 付近のダブルピークが Si 基板からのピークを示している。この結果から、バルク敏感な直出射領域では Si 基板からの寄与が大きく、表面敏感な斜出射側では SiON 薄膜からの寄与が大きくなっていることがわかる。更にこの強度比を詳細に解析することによって、SiON 膜厚が約 2 nm であることが正しく導き出され、この新型アナライザを用いることで深さ方向分布解析が可能であるという確証を得た。また、さらなる高空間分解能を進めるために、新しく直径 370 $\mu$ m、最外殻リング幅 18 nm(現状のものは最外殻リング幅 35 nm)のゾーンプレートを開発した。

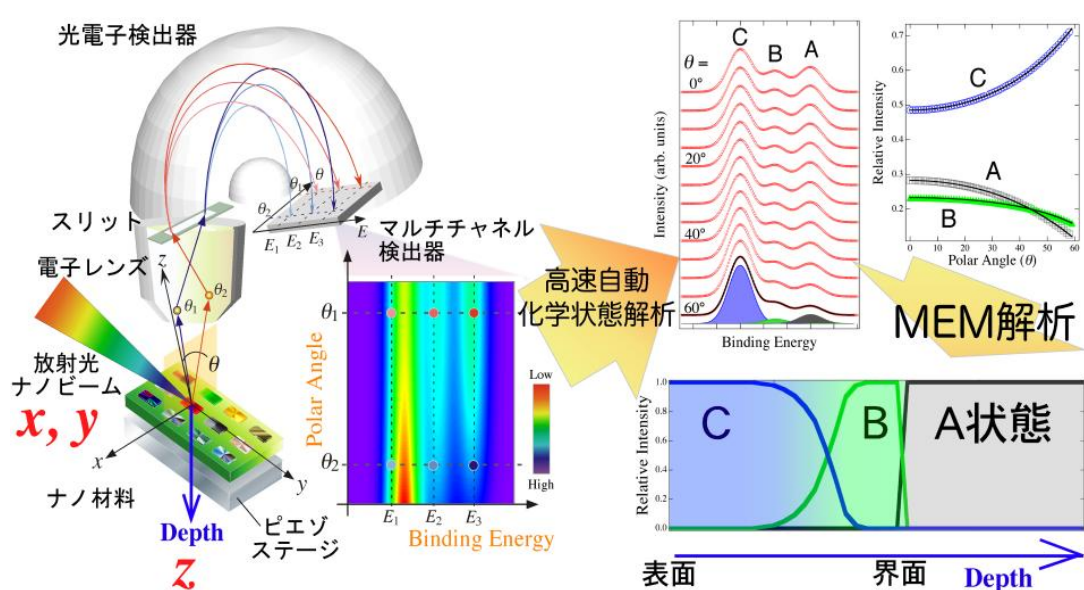


図1. 3次元(xy+z)走査型光電子分光装置の概略図

一方、上記の装置開発と同時平行して、光電子分光ピーク分離プログラムや深さ方向(MEM)解析プログラムの開発を進めた。MEM法による深さプロファイルに関してはグラフィカルユーザーインターフェース(GUI)の整備を行うことによって、最小自乗法や、ラザフォード後方散乱法により得られた深さ方向分布との比較などが容易に行えるようにした。この解析プログラムを用いて光電子スペクトルの解析を行うことにより、1. Metal/HfSiON/Si ゲートスタック構造における熱的安定性[A28]、2.  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{MnO}_3/\text{SrTiO}_3$  界面双極子と界面終端面との関係[A9]、3. 強相関酸化物における次元性制御金属・絶縁体転移現象の解明[A4]、4. 抵抗変化型不揮発性メモリーにおける界面不動態形成[A19]、など様々な系における界面電子状態を明らかにした。

また、Spring-8の軟X線ビームラインBL17SUにおいては、高効率・高エネルギー分解能の軟X線発光分光装置を利用して、液体(水・アセトニトリル)及び生体に重要な種々の有機物質(グリシン、酢酸など)と水の界面の電子状態解析を行い、発光分光に特有の偏光依存性を利用することによって、発光の各ピークを形成する分子軌道の対称性( $\sigma / \pi$ )の判別が可能であることを実証した。また同じ偏光依存性を利用して、Cu表面に吸着したコバルトナノ粒子の吸着状態が窒素の有無により変化する様子を捉えた。H21年度より開発を進めている軟X線ビームラインBL07LSUにおいては、分解能  $E/\Delta E > 5000$  を目指した超高分解能軟X線発光分光装置が稼働し、窒素 K 端( $\sim 400\text{eV}$ )からフッ素 K 端( $\sim 700\text{eV}$ )までのエネルギー範囲にわたって、装置分解能  $E/\Delta E > 5000$  を達成した。特に窒素 K 端では世界最高となる分解能  $E/\Delta E > 10000$  を達成した。このシステムを用いて、今後デバイス界面構造において最も重要な部分(例えば有機FETのゲート電極直下チャンネル領域)に焦点を絞ったピンポイント電子状態解析や、固液界面

の精密な電子状態分析が可能になると思われる。

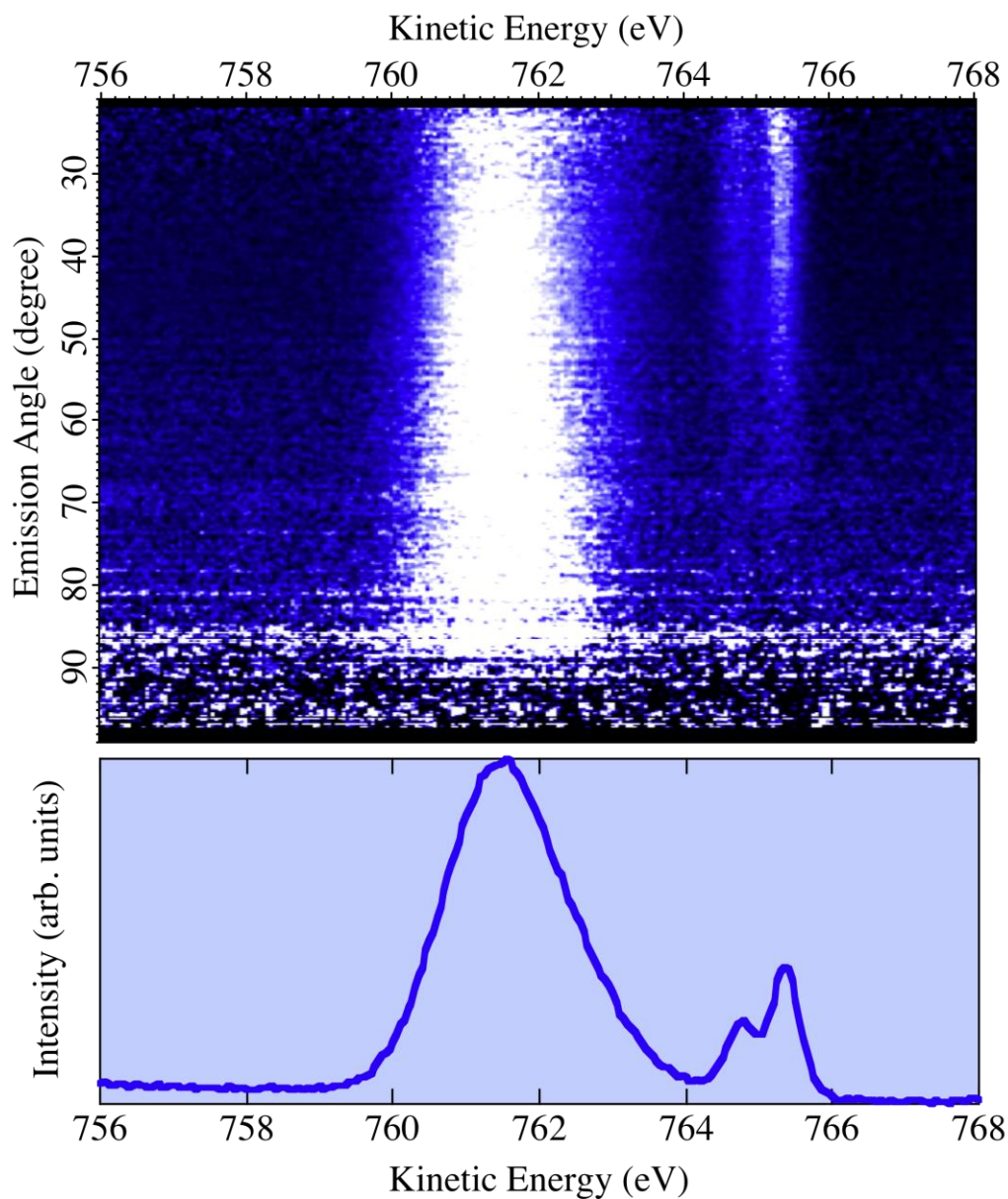


図 2. 60° 超広角取り込み角度分解光電子アナライザにより一括測定された、Si 基板上 2nm 厚 SiON 薄膜における Si2p 内殻準位の光電子放出角度依存性

#### §4. 成果発表等

(4-1) 原著論文発表 ([研究年報に掲載し公開](#))

●論文詳細情報

##### A. 「3D ナノ ESCA」グループ

A-1. T. Ikeda, M. Boero, S-F. Huang, K. Terakura, M. Oshima, J. Ozaki and S. Miyata, **“Enhanced Catalytic Activity of Carbon Alloy Catalysts Codoped with Boron and Nitrogen for Oxygen Reduction Reaction”**;

J. Phys. Chem. C **114**, 8933-8937 (2010). (DOI: 10.1021/jp100045e)

A-2. U. Takeuchi, A. Chikamatsu, T. Hitosugi, H. Kumigashira, M. Oshima, Y. Hirose, T. Shimada, and T. Hasegawa, **“Transport properties and electronic states of anatase  $\text{Ti}_{1-x}\text{W}_x\text{O}_2$  epitaxial thin films”**;

Jpn. J. Appl. Phys. **107**, 023705 (2010). (DOI:10.1063/1.3277057)

A-3. G. He, X. Wang, M. Oshima, and Y. Shimogaki, **“Metalorganic Chemical Vapor Deposition of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  Thin Films from Dimethylaluminumhydride and  $\text{O}_2$ ”**;

Jpn. J. Appl. Phys. **49**, 031502 (2010). (DOI:10.1143/JJAP.49.031502)

A-4. K. Yoshimatsu, T. Okabe, H. Kumigashira, S. Okamoto, S. Aizaki, A. Fujimori, and M. Oshima, **“Dimensional-Crossover-Driven Metal-Insulator Transition in  $\text{SrVO}_3$  Ultrathin Films”**;

Phys. Rev. Lett **104**, 147601 (2010). (DOI: 10.1103/PhysRevLett.104.147601)

A-5. H. Nogawa, T. Hitosugi, A. Chikamatsu, S. Nakao, Y. Hirose, T. Shimada, H. Kumigashira, M. Oshima, and T. Hasegawa, **“Carrier Compensation by Excess Oxygen Atoms in Anatase  $\text{Ti}_{0.94}\text{Nb}_{0.06}\text{O}_{2+\delta}$  Epitaxial Thin Films”**;

Jpn. J. Appl. Phys. **49**, 041102 (2010). (DOI:10.1143/JJAP.49.041102)

A-6. T. Tanimura, S. Toyoda, H. Kamada, H. Kumigashira, M. Oshima, T. Sukegawa, G.L. Liu, and Z. Liu, **“Photoinduced charge-trapping phenomena in metal/high- $k$  gate stack structures studied by synchrotron radiation photoemission spectroscopy”**;

Appl. Phys. Lett. **96**, 162902 (2010). (DOI:10.1063/1.3409162)

A-7. K. Shimomoto, A. Kobayashi, K. Ueno, J. Ohta, M. Oshima, and H. Fujioka, **“Characteristics of Thick  $m$ -Plane InGaN Films Grown on ZnO Substrates Using**

**Room Temperature Epitaxial Buffer Layers”;**

Appl. Phys. Express **3**, 061001 (2010). (DOI:10.1143/APEX.3.061001)

**A-8. A. Kobayashi, K. Shimomoto, J. Ohta, H. Fujioka, and M. Oshima, “Optical polarization characteristics of *m*-plane InGaN films coherently grown on ZnO substrates”;**

Phys. Status. Solidi RRL **4**, No. 8–9, 188–190 (2010). (DOI :10.1002/pssr.201004204)

**A-9. M. Minohara, R. Yasuhara, H. Kumigashira, and M. Oshima, “Termination layer dependence of Schottky barrier height for  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{MnO}_3$  /Nb:SrTiO<sub>3</sub> heterojunctions”;**

Phys. Rev. B **81**, 235322 (2010). (DOI: 10.1103/PhysRevB.81.23532)

**A-10. S. Toyoda, H. Kamada, A. Kikuchi, H. Kumigashira, M. Oshima, K. Iwamoto, T. Sukegawa, and Z. Liu, “Effect of nitrogen bonding states on dipole at the HfSiO/SiON interface studied by photoemission spectroscopy”;**

J. Appl. Phys **107**, 124103 (2010).(DOI:10.1063/1.3449077)

**A-11. T. Fujii, A. Kobayashi, J. Ohta, M. Oshima, and H. Fujioka, “Structural characteristics of semipolar InN (112̄) films grown on yttria stabilized zirconia substrates”;**

Phys. Status Solidi A, 1–3 (2010). (DOI: 10.1002/pssa.201026215 )

**A-12. M. Kobayashi, S. Hidai, H. Niwa, Y. Harada, M. Oshima, H. Ofuchi, Y. Nakamori, and T. Aoki, “Electronic structure of Pt–Co cathode catalysts in membrane electrolyte assembly observed by X-ray absorption fine structure spectroscopy with different probing depth”;**

Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena. **181**, 239–241 (2010). (DOI:10.1016/j.elspec.2010.05.011)

**A-13. T. Kajima, A. Kobayashi, K. Ueno, K. Shimomoto, T. Fujii, J. Ohta, H. Fujioka, and M. Oshima, “Room-Temperature Epitaxial Growth of High-Quality *m*-Plane InAlN Films on Nearly Lattice-Matched ZnO Substrates”;**

Jpn. J. Appl. Phys. **49**, 070202 (2010). (DOI:10.1143/JJAP.49.070202)

**A-14. K. Shimomoto, A. Kobayashi, K. Mitamura, K. Ueno, J. Ohta, M. Oshima, and H.**

Fujioka, **“Characteristics of m-Plane InN Films Grown on ZnO Substrates at Room Temperature by Pulsed Laser Deposition”**;

Jpn. J. Appl. Phys. **49**, 080202 (2010). (DOI:10.1143/JJAP.49.080202)

**A-15.** T. Fujii, A. Kobayashi, K. Shimomoto, J. Ohta, M. Oshima, and H. Fujioka, **“Growth Orientation Control of Semipolar InN Films Using Yttria-Stabilized Zirconia Substrates”**;

Jpn. J. Appl. Phys. **49**, 080204 (2010). (DOI:10.1143/JJAP.49.080204)

**A-16.** J.W. Liu, A. Kobayashi, S. Toyoda, H. Kamada, A. Kikuchi, J. Ohta, H. Fujioka, H. Kumigashira, and M. Oshima, **“Band offsets of polar and nonpolar GaN/ZnO heterostructures determined by synchrotron radiation photoemission spectroscopy”**;

Phys. Status. Solid. B, 1–4 (2010). (DOI :10.1002/pssb.201046459 )

**A-17.** G. He, S. Toyoda, Y. Shimogaki, and M. Oshima, **“Thermal stability and chemical bonding states of AlO<sub>x</sub>N<sub>y</sub>/Si gate stacks revealed by synchrotron radiation photoemission spectroscopy”**;

Applied Surface Science **257**, 1638–1642 (2010). (DOI:10.1016/j.apsusc.2010.08.113)

**A-18.** S. Maruyama, Y. Takeyama, H. Taniguchi, H. Fukumoto, M. Ito, H. Kumigashira, M. Oshima, T. Yamamoto, and Y. Matsumoto, **“Molecular beam deposition of nanoscale ionic liquids in ultrahigh vacuum”**;

ACS Nano **4**, 5946 (2010). (DOI:10.1021/nn101036v)

**A-19.** R. Yasuhara, T. Yamamoto, I. Ohkubo, H. Kumigashira, and M. Oshima, **“Interfacial chemical states of resistance-switching metal/Pr<sub>0.7</sub>Ca<sub>0.3</sub>MnO<sub>3</sub> Interfaces”**

Appl. Phys. Lett. **97**, 132111 (2010). (DOI:10.1063/1.3496033)

**A-20.** Hideharu Niwa, Masaki Kobayashi, Koji Horiba, Yoshihisa Harada, Masaharu Oshima, Kiyoyuki Terakura, Takashi Ikeda, Yuka Koshigoe, Jun-ichi Ozaki, Seizo Miyata, Shigenori Ueda, Yoshiyuki Yamashita, Hideki Yoshikawa, Keisuke Kobayashi **“X-ray photoemission spectroscopy analysis of N-containing carbon-based cathode catalysts for polymer electrolyte fuel cells”**;

Journal of Power Sources **196**. 1006-1011 (2011). (DOI:10.1016/j.jpowsour.2011.08.054)

**A-21.** J. W. Liu, A. Kobayashi, S. Toyoda, H. Kamada, A. Kikuchi, J. Ohta, H. Fujioka,



H. Kumigashira, and M. Oshima, “**Band offsets of polar and nonpolar GaN/ZnO heterostructures determined by synchrotron radiation photoemission spectroscopy**”; *Phys. Status Solidi B*, 1–4 (2010). (DOI:10.1002/pssb.201046459)

**A-22.** G. Sugano, I. Ohkubo, T. Harada, T. Ohnishi, M. Lippmaa, Y. Matsumoto, H. Koinuma, and M. Oshima, “**Device size dependence of resistance switching performance in metal/manganite/metal trilayers**”; *Materials Science and Engineering B*, **173**, 3–6 (2010). (DOI:10.1016/j.mseb.2009.11.022)

**A-23.** S. Toyoda, J. Okabayashi, M. Komatsu, M. Oshima, Dong-Ick Lee, Shiyu Sun, Yun Sun, P. A. Pianetta, D. Kukuruznyak, and T. Chikyow, “**Effects of Al doping and annealing on chemical states and band diagram of Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> /Si gate stacks studied by photoemission and x-ray absorption spectroscopy**”; *J. Vac. Sci. Technol. A* **28**, 16 (2010). (DOI:10.1116/1.3259869)

**A-24.** M. Oshima, S. Toyoda, H. Kamada, T. Tanimura, Y. Nakamura, K. Horiba, and H. Kumigashira, “**Synchrotron radiation photoelectron spectroscopy for gate metal/HfSiO(N)/ SiO(N)/ Si stack structures**”; *ElectroChemical Society Transaction (ECST)* **33**, 231-240 (2010). (DOI:133.11.174.42.)

**A-25.** T. Harada, I. Ohkubo, M. Lippmaa, Y. Matsumoto, M. Sumiya, H. Koinuma, and M. Oshima, “**Modulation of the ferromagnetic insulating phase in Pr<sub>0.8</sub>Ca<sub>0.2</sub>MnO<sub>3</sub> by Co substitution**”; *Phys. Status. Solodi RRL* **5**, 34 (2010). (DOI:10.1002/pssr.201004467)

**A-26.** J.W. Liu, A. Kobayashi, K. Ueno, S. Toyoda, A. Kikuchi, J. Ohta, H. Fujioka, H. Kumigashira, and M. Oshima, “**Electronic structures of c-plane and a-plane AlN/ZnO heterointerfaces determined by synchrotron radiation photoemission spectroscopy**”; *Appl. Phys. Lett.* **97**, 252111 (2010). (DOI:10.1063/1.3530445)

**A-27.** H. Kamada, S. Toyoda, T. Tanimura, H. Kumigashira, M. Oshima, G.L. Liu, Z. Liu, and T. Sukegawa, “**Interfacial reactions for Ru metal-electrode/HfSiON gate stack structures studied by synchrotron-radiation photoelectron spectroscopy**”; *J. Appl. Phys.* **108**, 123521 (2010). (DOI:10.1063/1.3525584)

A-28. S. Toyoda, H. Kamada, H. Kumigashira, M. Oshima, K. Iwamoto, T. Sukegawa, and Z. Liu, **“Thermal stability of TiN/HfSiON gate stack structures studied by synchrotron-radiation photoemission spectroscopy”**;

Appl. Phys. Lett. **97**, 262903 (2010). (DOI:10.1063/1.3532846)

A-29. M. Oshima, H. Niwa, M. Saito, M. Kobayashi, K. Horiba, Y. Harada, K. Terakura, T. Ikeda, J. Ozaki, Y. Nabae and S. Miyata, **“Electronic Structures of Non-Pt Carbon Alloy Catalysts for Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells Revealed by Synchrotron Radiation Analyses”**;

Mate. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. **1318**, 437(2011). (DOI:10.1557/opl.2011.437)

A-30. K. Tsubouchi, I. Ohkubo and M. Oshima, **“Characterization of ferromagnetism around interfaces by rear-incident magneto-optic Kerr effect”**;

Physica Status Solidi A, 1-4 (2011). (DOI: 10.1002/pssa.201026608)

#### 未発行論文

A-31. Y. Senba, H. Ohashi, A. Harasawa, M. Fujisawa, T. Okuda, I. Matsuda, S. Takahashi, N. Nariyama, T. Matsushita, T. Ohata, Y. Furukawa, T. Tanaka, K. Takeshita, S. Goto, H. Kitamura, A. Kakizaki and M. Oshima, **“A new soft X-ray beamline BL07LSU for a long undulator of SPring-8: Design and status”**; Nucl. Instr. Meth. in press.

A-32. K. Shimomoto, K. Mitamura, R. Ohba, J. Ohta, H. Fujioka, and M. Oshima, **“Integration of group III nitride semiconductors with gadolinium gallium garnet”**; submitted.

#### B.「ナノビーム」グループ

B-1. Akinori Nishide, Alexey Taskin, Yasuo Kakeichi, Taichi Okuda, Akito Kakizaki, Toru Hirahara, Kan Nakatsuji, Fumio Komori, Yoichi Andoh, and Iwao Matsuda, **“Direct mapping of spin-filtered surface bands of a three-dimensional quantum spin Hall insulator”**;

Phys. Rev. B **81**, 041309 (R) (2010). (DOI: 10.1103/PhysRevB.81.041309).

B-2. Ke He, Yasuo Takeichi, Manami Ogawa, Taichi Okuda, Paulo Moras, Dinesh Topwal, Ayumi Harasawa, Toru Hirahara, Carlo Carbone, Akito Kakizaki, and Iwao Matsuda, **“Direct spectroscopic evidence of spin-dependent hybridization between Rashba-split surface states and quantum-well states”**;

Phys. Rev. Lett. **104**, 156805 (2010). (DOI: 10.1103/PhysRevLett.104.156805).

**B-3.** Akinori Nishide, Alexey Taskin, Yasuo Kakeichi, Taichi Okuda, Akito Kakizaki, Toru Hirahara, Kan Nakatsuji, Fumio Komori, Yoichi Andoh, and Iwao Matsuda, **“Spin-polarized surface bands of a three-dimensional topological insulator studied by high-resolution spin- and angle-resolved photoemission”**;

New J. Phys. **12**, 065011 (2010). (DOI: 10.1088/1367-2630/12/6/065011).

**B-4.** Toru Hirahara, Yusuke Sakamoto, Yasuo Takeichi, Hidetoshi Miyazaki, Shin-ichi Kimura, Iwao Matsuda, Akito Kakizaki, and Shuji Hasegawa, **“Anomalous transport in an n-type topological insulator ultrathin Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> film”**;

Phys. Rev. B **82**,155309 (2010). (DOI: 10.1103/PhysRevB.82.155309).

**B-5.** Taichi Okuda, Kouji Miyamoto, Yasuo Takeichi, Hirokazu Miyahara, Manami Ogawa, Ayumi Harasawa, Akio Kimura, Iwao Matsuda, Akito Kakizaki, Tatsuya Shishido, and Tamio Oguchi, **“Direct evidence of spin-split in one-dimensional metallic surface states on Si(557)-Au”**;

Phys. Rev. B **82**,161410 (R) (2010). (DOI: 10.1103/PhysRevB.82.161410).

**B-6.** K. Arai, T. Okuda, A. Tnaka, M. Kotsugi, K. Fukumoto, M. Oura, Y. Senba, H. Ohashi, T. Nakamura, T. Matsushita, T. Muro, A. Kakizaki, and T. Kinoshita, **“Complete assignment of spin dynamics in antiferromagnetid NiO(100) by photoemission electron microscopy and cluster Model calculation”**;

J. Phys. Soc. Jpn. **79**, 013703 (2010). (DOI: 10.1143/JPSJ.79.013703)

**B-7.** Hideki Nakajima, Supakorn Pukird, Wichuda Boonyaratgalin, Takehiko Ishii, Tomohiko Saitoh, and Akito Kakizaki, **“Electronic and magnetic structures in O/Cr(001) surface from angle-resolved photoemission spectroscopy”**;

J. Phys. Soc. Jpn. **79**, 104710 (2010). (DOI: 10.1143/JPSJ.79.104710)

**B-8.** Kenta Amemiya and Masako Sakamaki, **“Sub-nm resolution depth profiling of the magnetic structure of thin films by the depth-resolved X-ray magnetic circular dichroism technique”**;

J. Phys. D **44**, 064018 (2011). (DOI: 10.1088/0022-3727/44/6/064018)

**B-9.** Masako Sakamaki and Kenta Amemiya, "**Effect of surface roughness on magnetism of ultrathin Co films**";

J. Phys.: Conf. Ser. **266**, 012020 (2011). (DOI: 10.1088/1742-6596/266/1/012020)

未発行論文

**B-10.** Hideki Nakajima, Ritthikrai Chai-ngam, Prayoon Songsiriritthigul, and Akito Kakizaki, "**Electronic structures related to the magnetic anisotropy in Ni/Cu(001) Rachadaporn Supruangnet**";

J. Phys. Soc. Jpn., in press.

**B-11.** F. Y. Ran, Y. Tsunemaru, T. Hasegawa, Y. Takeichi, A. Harasawa, K.

Yaji, S. Kim, and A. Kakizaki, "**Valence band structure and magnetic properties of Co-doped Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>(100) films**";

J. Appl. Phys., in press.

### C.「PEEM」グループ

**C-1.** Masato Kotsugi, Chiharu Mitsumata, Hiroshi Maruyama, Takanori Wakita, Toshiyuki Taniuchi, Kanta Ono, Motohiro Suzuki, Naomi Kawamura, Naoki Ishimatsu, Masaharu Oshima, Yoshio Watanabe, and Masaki Taniguchi, "**Novel Magnetic Domain Structure in Iron Meteorite Induced by the Presence of L10-FeNi**";

Appl. Phys. Express **3**, 013001 [1-3] (2010). (DOI: 10.1143/APEX.3.013001)

**C-2.** N. Ohshima, H. Numata, S. Fukami, K. Nagahara, T. Suzuki, N. Ishiwata, K. Fukumoto, T. Kinoshita, and T. Ono, "**Magnetic configuration of submicron-sized magnetic patterns in domain wall motion memory**",

J. Appl. Phys. **107**, 103912 [1-9] (2010). (DOI:10.1063/1.3427555)

**C-3.** M. Kotsugi, M. Mizuguchi, S. Sekiya, T. Ohkouchi, T. Kojima, K. Takanashi and Y. Watanabe "**Determination of local magnetic moment in L10-FeNi using photoelectron emission microscopy (PEEM)**"

J. Phys.: Conf. Ser. **266** (2011) 012095 (DOI: 10.1088/1742-6596/266/1/012095)

未発行論文

**C-4.** M. Kotsugi, T. Wakita, T. Taniuchi, H. Maruyama, C. Mitsumata, K. Ono, M. Suzuki, N. Kawamura, N. Ishimatsu, M. Oshima, Y. Watanabe and M. Taniguchi

**"Direct metallographic analysis of iron meteorite using hard x-ray photoelectron emission microscopy"**

IBM Journal Research and Development (2011), in press.

**C-5.** R. Yamaguchi, K. Terashima, K. Fukumoto, Y. Takeda, M. Kotsugi, Y. Miyata, K. Mima, S. Komori, S. Itoda, Y. Nakatsu, M. Yano, N. Miyamoto, T. Nakamura, T. Kinoshita, Y. Watanabe, A. Manabe, S. Suga and S. Imada, **"XMCD-PEEM study on magnetized Dy-doped Nd-Fe-B permanent magnet"**

IBM Journal Research and Development (2011), in press.

**C-6.** K. Arai, T. Okuda, K. Fukumoto, M. Kotsugi, T. Ohkouchi, K. Kodama, T. Kimura, Y. Haruyama, T. Nakamura, T. Matsushita, H. Osawa, T. Muro, S. Matsui, A. Kakizaki, Y. Otani, and T. Kinoshita, **"Dynamics of Magnetostatically Coupled Vortices Observed by Time-Resolved Photoemission Electron Microscopy"**

Jpn. J. Appl. Phys., in press.

D.「マイクロ発光」グループ

**D-1.** Y. Horikawa, T. Tokushima, A. Hiraya, and S. Shin, **"Pronounced polarization anisotropy in resonant X-ray emission from acetic acid molecules in solution";**

Phys. Chem. Chem. Phys. **12**, 9165-9168 (2010). ( DOI: 10.1039/C003644G)

**D-2.** T. Tokushima, Y. Harada, Y. Horikawa, O. Takahashi, Y. Senba, H. Ohashi, L.G.M. Pettersson, A. Nilsson, and S. Shin, **"High resolution X-ray emission spectroscopy of water and its assignment based on two structural motifs";**

Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena **177**, 192-205 (2010).

(DOI:10.1016/j.elspec.2010.02.008)

**D-3.** K. Nakatsuji, Y. Takagi, Y. Yoshimoto, T. Iimori, K. Yaji, K. Tomatsu, Y. Harada, T. Takeuchi, T. Tokushima, Y. Takata, S. Shin, T. Ishikawa, and F. Komori, **"Polarization dependent soft X-ray emission spectroscopy of cobalt nano-islands on a nitrogen-adsorbed Cu(001) surface";**

Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena **181**,225-228 (2010).

(DOI:10.1016/j.elspec.2010.01.007)

E.「コヒーレント分光」グループ

**E-1.** S. Ideta, K. Takashima, M. Hashimoto, T. Yoshida, A. Fujimori, H. Anzai, T. Fujita,

Y. Nakashima, A. Ino, M. Arita, H. Namatame, M. Taniguchi, K. Ono, M. Kubota, D. H. Lu, Z.-X. Shen, K. M. Kojima, and S. Uchida, **“Enhanced Superconducting Gaps in the Trilayer High-Temperature  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$  Cuprate Superconductor”**;  
Phys. Rev. Lett. **104**, 227001 [1-4] (2010). (DOI:10.1103/PhysRevLett.104.227001)

**E-2.** Minoru Osada, Kosho Akatsuka, Yasuo Ebina, Hiroshi Funakubo, Kanta Ono, Kazunori Takada, and Takayoshi Sasaki, **“Robust High- $\kappa$  Response in Molecularly-Thin Perovskite Nanosheets”**;  
ACS Nano **4**, 5225-5232 (2010). (DOI: 10.1021/nn101453v)

**E-3.** T. Yoshida, M. Hashimoto, T. Takizawa, A. Fujimori, M. Kubota, K. Ono, and H. Eisaki, **“Mass renormalization in the band width-controlled Mott-Hubbard systems  $\text{SrVO}_3$  and  $\text{CaVO}_3$  studied by angle-resolved photoemission spectroscopy”**;  
Phys. Rev. B **82**, 085119 1-5 (2010). (DOI:10.1103/PhysRevB.82.085119)

**E-4.** Wataru Yashiro, Sebastien Harasse, Akihisa Takeuchi, Yoshio Suzuki, and Atsushi Momose, **“Hard-x-ray phase-imaging microscopy using the self-imaging phenomenon of a transmission grating”**;  
Phys. Rev. A **82**, 043822 (2010). (DOI:10.1103/PhysRevA.82.043822)

**E-5.** W. Yashiro, Y. Terui, K. Kawabata, and A. Momose, **“On the origin of visibility contrast in x-ray Talbot interferometry”**;  
Opt. Exp. **18**, 16890-16901 (2010). (DOI:10.1364/OE.18.016890)

#### F.「放射光界面解析」グループ

**F-1.** Y. Muraoka, K. Noami, T. Wakita, M. Hirai, T. Yokoya, Y. Kato, T. Muro, and Y. Tamenori, **“Synthesis and physical properties of the hollandite-type titanium oxide  $\text{K}_x\text{Ti}_8\text{O}_{16}$ ”**  
Phys. Status Solidi C **8**, Iss. **2**, 555-557 (2011). (DOI: 10.1002/pssc.201000383)

**F-2.** Y. Muraoka, K. Saeki, R. Eguchi, T. Wakita, M. Hirai, T. Yokoya, and S. Shin, **“Spectroscopic evidence of the formation of (V,Ti) $\text{O}_2$  solid solution in  $\text{VO}_2$  thinner films grown on  $\text{TiO}_2(001)$  substrates”**  
J. Appl. Phys. **109**, No. 4, 043702/1-6 (2011). (DOI: 10.1063/1.3549835)

**F-3.** H. Okazaki, R. Yoshida, T. Muro, T. Nakamura, T. Wakita, Y. Muraoka, M. Hirai,

H. Kato, S. Yamasaki, Y. Takano, S. Ishii, T. Oguchi, and T. Yokoya, “**Multiple phosphorus chemical sites in heavily phosphorus-doped diamond**”

Appl. Phys. Lett. **98**, No. 8, 082107 (2011). (DOI: 10.1063/1.3554699)

**F-4.** H. Okazaki, R. Yoshida, K. Iwai, K. Noami, T. Muro, T. Nakamura, T. Wakita, Y. Muraoka, M. Hirai, F. Tomioka, Y. Takano, A. Takenaka, M. Toyoda, T. Oguchi, and T. Yokoya, “**Photoemission study of Ca-intercalated graphite superconductor CaC<sub>6</sub>**”

PHYSICA C-SUPERCONDUCTIVITY AND ITS APPLICATIONS 470, Sp. Iss. SI Suppl.1, S637-S638 (2010). (DOI: 10.1016/j.physc.2009.11.039)

**F-5.** T. Wakita, H. Okazaki, Y. Takano, M. Hirai, Y. Muraoka, and T. Yokoya, “**Angle-resolved photoemission study of Si electronic structure: Boron concentration dependence**”;

PHYSICA C-SUPERCONDUCTIVITY AND ITS APPLICATIONS 470, Sp. Iss. SI Suppl.1, S641-S643 (2010). (DOI: 10.1016/j.physc.2009.11.028)

**F-6.** Y. Nakamura, H. Okazaki, R. Yoshida, T. Wakita, M. Hirai, Y. Muraoka, H. Takeya, K. Hirata, H. Kumigashira, M. Oshima, and T. Yokoya, “**Electronic Structure of the Novel Filled Skutterudite PrPt<sub>4</sub>Ge<sub>12</sub> Superconductor**”;

J. Phys. Soc. Jpn. **79**, No. 12, 124701 (2010). (DOI:10.1143/JPSJ.79.124701)

**F-7.** H. Okazaki, T. Wakita, T. Muro, Y. Kaji, X. Lee, H. Mitamura, N. Kawasaki, Y. Kubozono, Y. Yamanari, T. kambe, T. Kato, M. Hirai, Y. Muraoka, and T. Yokoya, “**Electronic structure of pristine and K-doped picene: Nonrigid band change and its implication for electron-intramolecular-vivration interaction**”;

Phys. Rev. B, **82**, No. 19, 195114 (2010). (DOI:10.1103/PhysRevB.82.195114)

**F-8.** Y. Muraoka, K. Saeki, Y. Yao, T. Wakita, M. Hirai, T. Yokoya, R. Eguchi, and S. Shin, “**Angle-resolved photoemission spectroscopy for VO<sub>2</sub> thin films grown on TiO<sub>2</sub>(001) substrates**”;

Jornal of Electron Spectroscopy and Related Phenomenoa, **181**, No. 2-3, Sp. Iss. SI 249-251 (2010). (DOI:10.1016/j.elspec.2010.02.003)

**F-9.** K. Iwai, Y. Muraoka, T. Wakita, M. Hirai, T. Yokoya, Y. Kato, T. Muro, and Y. Tamenori, “**Bulk and surface physical properties of a CrO<sub>2</sub> thin film prepared from a Cr<sub>8</sub>O<sub>21</sub> precursor**”;

J. Appl. Phys. **108**, No. 4, 043916 (2010). (DOI: 10.1063/1.3471811)

**F-10.** K. Noami, Y. Muraoka, T. Wakita, M. Hirai, Y. Kato, T. Muro, Y. Tamenori, and T. Yokoya, “**Room temperature ferromagnetic behavior in the hollandite-typ titanium oxide**”;

J. Appl. Phys. **107**, No. 7, 073910 (2010). (DOI: 10.1063/1.3369500.)

(4-2) 知財出願

①平成22年度特許出願件数(国内 0 件)

②CREST 研究期間累積件数(国内 1 件)