

平成22年6月8日現在

研究種目：基盤研究（S）

研究期間：2005～2009

課題番号：17101004

研究課題名（和文）放射光光電子顕微鏡によるナノ分光法の開発

研究課題名（英文）Development of nano-spectroscopy using synchrotron radiation photoemission electron microscopy

研究代表者

尾嶋 正治（OSHIMA MASAHARU）

東京大学・大学院工学系研究科・教授

研究者番号：30280928

研究成果の概要（和文）：

ナノデバイス、環境触媒などナノサイズ構造における電子状態を解明するため、2種類の放射光光電子顕微鏡を用いたナノ分光法の開発を行い、これをLSIナノ構造、磁性ナノ構造、抵抗変化素子、非白金系触媒に適用してその有効性を実証した。主な成果は以下の通りである。

1) 投影型放射光光電子顕微鏡（PEEM）：分光型PEEMの空間分解能を向上させるため、床面振動防止対策を行うとともに試料ドリフト補正を行うための画像処理法を新しく開発した。これにより空間分解能22nmを達成した。

2) 走査型光電子顕微鏡（3次元ナノESCA）：新しく開発したピンポイント角度分解光電子分光装置の性能評価（空間分解能92nm達成）

3) PEEMによる磁気イメージング：パーマロイナノパターン、LSMO薄膜ナノパターンの磁区構造解析実現

4) PEEMによるLSIナノ材料解析：high-k絶縁膜の真空加熱中化学状態変化のイメージング実現

5) 3次元ナノESCAによるLSIナノ材料中ピンポイント深さ分布解析：

6) PEEMによる抵抗変化型不揮発メモリー（ReRAM）の界面電子状態解析と抵抗変化メカニズムの解明：Pt/CuO/Pt構造におけるCu酸化・還元減少の可視化実現

7) マイクロX線吸収分光による燃料電池断面構造観察：斜めカット正極/電解質膜/負極構造の元素マッピング取得と発電劣化メカニズムの解明

8) 硬X線PEEMによる深く埋もれた界面のイメージング：200nm埋もれたAuナノ構造の光電子イメージングを実現。

研究成果の概要（英文）：

In order to investigate chemical, electronic and magnetic structures in nano-devices, environmental catalysts and other inhomogeneous systems, we have developed nano-spectroscopy using two types of photoelectron microscopy, namely projection type and scanning type, with synchrotron radiation, and have applied them to LSI nanostructures, magnetic nanostructures, resistance RAM and non-Pt catalysts successfully. We have achieved the following eight points.

1. Projection-type PEEM was modified to improve the spatial resolution up to 22 nm by means of anti-vibration setup and image processing software for sample drift correction.

2. Scanning-type 3DnanoESCA was developed with spatial resolution of 92 nm by pin-point angle-resolved photoelectron spectroscopy.

3. Magnetic imaging by XMCD-PEEM was realized for permalloy nanostructures and patterned LSMO nanostructures for non-volatile magnetic memory applications.

4. *In situ* imaging by PEEM was realized for LSI high-k gate insulators during vacuum annealing.

5. Pin-point in-depth analysis by 3DnanoESCA was realized for LSI high-k gate insulators.

6. PEEM imaging at Cu L edges for CuO and Cu revealed the ReRAM mechanism with reduction/oxidation switching.

7. Micro XAS at Pt and Co absorption edges for tapered-cut anode/electrolyte/cathode of fuel cells revealed the degradation mechanism.

8. Hard X-ray PEEM enabled the visualization of deeply embedded Au nano-patterns.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	43500000	13050000	56550000
2006年度	18900000	5670000	24570000
2007年度	8200000	2460000	10660000
2008年度	8200000	2460000	10660000
2009年度	5700000	1710000	7410000
総計	84500000	25350000	109850000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：ナノ・マイクロ科学・ナノ材料・ナノバイオサイエンス

キーワード：放射光 X 線粒子線、電子顕微鏡、強相関電子系、ナノ材料、環境材料

### 1. 研究開始当初の背景

次世代の超高密度磁気記憶システムや ULSI、半導体レーザーの開発に向けて、ナノサイズの磁性体、極薄ゲート絶縁膜、半導体量子ドットの研究が進められている。HDD システムにおける限界を突破して数 Tbit/inch<sup>2</sup> 以上の超高密度化を実現するには、磁性ナノ構造における基本的な物理現象を解明し、それを制御する方法を開発することが必要である。一方、ULSI においては、1-2 nm 厚さというナノ領域における構造・物性は未知であり、さらにゲート絶縁膜のサブミクロンオーダーでの面内不均一性を解明し、制御することが大きな課題になっている。また、触媒化学・表面化学においては、真の反応機構を明らかにするためナノ領域における化学状態、電子状態の分布、その時間変化の解析が必要である。

### 2. 研究の目的

本研究では、高輝度放射光を用いた 2 種類の光電子顕微鏡システムを新しく開発し、1) 磁性ナノエレクトロニクス、2) 半導体ナノエレクトロニクス、4) 環境科学 (触媒化学・表面化学)、4) ライフサイエンス、の 4 分野におけるナノ構造の物性を解明し、新しい機能デバイスの開発に貢献する。

### 3. 研究の方法

高エネルギー加速器研究機構放射光研究施設 PF および SPring-8 の高輝度放射光を用いた光電子顕微鏡システムの開発 (①PEEM 方式、および②ナノビーム走査方式)、このシステムを用いた 1) 磁気メモリー材料、2)

LSI 材料、3) 強相関酸化物材料、4) 抵抗変化不揮発メモリー、5) 燃料電池用触媒 (白金系触媒を含む) の解析を行うとともに、新しく 6) 硬 X 線光電子顕微鏡を用いた埋もれたナノ構造のイメージングにも挑戦する。

### 4. 研究成果

#### (1) 放射光ナノ分光用装置の開発

##### ①. 投影型光電子顕微鏡 (PEEM) 装置の開発

投影型光電子顕微鏡については、長時間観測下の試料ドリフトによって空間分解能が約 100 nm まで劣化するという問題に対処するため、床面振動防止対策を行うとともに試料ドリフト補正を行うための画像処理法を新しく開発した。これは、最初に参照試料を測定し、それとの比較で二次元の相関関数を求め、画像の再シフト量を見積もるという手法で、これにより空間分解能 22 nm での光電子顕微鏡像が取得できることを実証した。さらに光電子顕微鏡の視野 (通常数ミクロン  $\Phi$ ) における放射光強度の不均一性を補正する画像ソフトを開発した。

##### ②. 走査型光電子顕微鏡 (3 次元ナノ ESCA) の開発

3 次元ナノ ESCA を設置すべく最適設計した SPring-8 東大放射光アウトステーション BL07LSU の建設を進め、2009 年 10 月に完成させた。3 次元ナノ ESCA 装置を新しく設計・製作し、まず高エネルギー加速器研究機構 PF において空間分解能 300nm での光電子イメージングを実現した。この装置を SPring-8 東大ビームラインに移設し、空間分解能 92 nm でエネルギー分解能 200 meV

の角度分解能光電子分光測定を達成した。

また、さらに高い空間分解能をめざして最外周幅 35 nm から 18 nm に向上させた新ゾンプレートとの共同開発を行い、21 年度末に完成させた。22 年度からはこれを用いた空間分解能 30 nm の走査型角度分解光電子分光装置を実現する。

### ③コンビナトリアルレーザーMBE装置

光電子顕微鏡によって微小部電子状態マッピングを行う対象としては、①不均一系（相分離など）、②組成傾斜試料、の2つが主な対象になる。そこで酸化物磁性薄膜試料の組成傾斜試料を作製するために、エキシマレーザーを swing mirror で走査することでターゲットに均一に照射出来るコンビナトリアルレーザーMBE装置を新しく開発した。LaNiO<sub>3</sub>金属相とLaMnO<sub>3</sub>絶縁体相を組成傾斜的に薄膜作製することに成功し、その電子状態を「微小領域」光電子分光&X線吸収分光で解析した。その結果、Mnが30%混入したLaMn<sub>0.3</sub>Ni<sub>0.7</sub>O<sub>3</sub>で金属-絶縁体転移を起こすことを見出した。

## (2) 放射光ナノ分光法の開発

### ①磁性ナノ材料の光電子顕微鏡による磁気イメージング

#### i) パーマロイナノパターンの磁区構造解析

高密度の磁気カイラリティー制御素子を開発するため、数 100-100 nm サイズのパーマロイパターンをナノリソグラフィ+リフトオフ法で形成し、分光型 PEEM である SPELEEM を用いた空間分解能 50 nm の XMCD 磁気イメージングを行った。その結果円形のパーマロイパターンでは右回り磁化と左回り磁化が半々存在しており、制御不能であることが分かった。そこで、タグ付き円形パーマロイパターンを磁気シミュレーションを駆使して設計・作製したところ、左右回転磁化を思い通りに制御出来ることが分かった。面内磁化を観測する手法はこの XMCD-PEEM 法がもっとも優れているため、

#### ii) 強相関係酸化物薄膜ナノ構造の磁気イメージング

磁性薄膜や微小磁性体における磁気異方性や磁区構造は、MRAM などトンネル磁気抵抗効果を利用したデバイスにおいてデバイス特性を支配する重要な要因であるため、磁区構造の解明と制御は特性向上に不可欠である。half-metal 的伝導性を有す LSMO 薄膜においてステップ誘起一軸磁気異方性を光電子顕微鏡で解明してきたが、さらに微細な LSMO ナノ構造 (1 ~ 2 μm) における磁区構造観察を行った。その結果、ステップ誘起一

軸磁気異方性と形状異方性に加えてサイズ効果が磁区形成に大きな影響を及ぼしていることが明らかとなった。図4にステップに垂直な形状異方性を持つ LSMO パターン中磁区イメージを示すが、ステップ誘起一軸磁気異方性が形状異方性より大きな効果を持つこと、およびサイズをさらに小さくすると double flux closure を示すことが明らかになった。これらは、磁気記録デバイスの特性向上に向けた重要な知見を与えている。

#### iii) 隕石中微結晶の解析

鉄隕石中ウイドマンステッテン構造の微細構造をナノ EXAFS 法で調べた結果、Bcc-fcc 界面粒界に Ni が偏析しており、L1<sub>0</sub>-FeNi 薄膜が寄与していることを明らかにした。

### ②LSI用ナノ材料の解析

#### i) LSI用高誘電率ゲート絶縁膜のナノ分光

次世代 LSI 用ゲート絶縁膜として高誘電率 HfO<sub>2</sub> 薄膜の「局所的な熱的安定性」やリーク電流の原因となる「局所的な欠陥形成」メカニズムを解明するため、放射光光電子顕微鏡装置内で試料を加熱して局所的な反応 kinetics を解析した。poly-Si/HfO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si 基板構造の試料を放射光光電子顕微鏡装置中で加熱を行い、微小部 (サブ μm) 化学状態イメージングを行った。その結果、シリサイド化はシリケート化 (HfSiO<sub>x</sub> 化合物形成) を伴って進行することを明らかにした。

#### ii) LSI ゲート絶縁膜のピンポイント深さ方向分析

角度分解光電子分光データを MEM 法 (最大エントロピー法) によって正確な深さ方向分布に変換するソフトウェアを新しく開発した。あらかじめ断面 TEM と RBS で分布が既知標準試料を解析し、ソフトの妥当性を確認した。この手法は化学結合状態を識別した深さ分布決定を大きな特徴としている。そこで、3次元ナノ ESCA で測定した poly-Si/HfO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si ナノパターンについてピンポイント角度分解光電子分光測定を行い、300nm 領域の深さ方向分布 (分解能 0.2nm) を解析することに初めて成功した。この手法は放射光ビームサイズの縮小化 (現在の 92 nm ビームから計画中の 30 nm ビームへ) に伴って空間分解能が向上するため、最先端のナノテクにおいて極めて強力な武器となるものと来たいしている。

### ③強相関係薄膜材料：酸化物人工多層膜の作製と in situ 電子状態解析

#### i) 強相関係酸化物 La<sub>1-x</sub>Sr<sub>x</sub>MnO<sub>3</sub> 薄膜のレーザーMBE成長と in situ 角度分解光電子分光完全スピン偏極強磁性体として注目され

ている強相関係酸化物  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  (LSMO) 薄膜のレーザー-MBE 成長と *in situ* 角度分解光電子分光を行い、基板からの歪みによって物性 (Sr 組成の増加とともに Mn 3d  $e_g$  状態がフェルミ面をよぎる様子を明瞭に観察した。LDA+U 理論計算との比較から、この Mn 3d  $e_g$  状態 (アップスピン) が完全スピン偏極強磁性体 (half-metal) の起源であると考えられ、トンネル磁気抵抗 (TMR) 素子応用可能性を明らかにするため、 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  薄膜 / ( $\text{TiO}_2$  終端、SrO 終端)  $\text{SrTiO}_3$  界面状態を軟 X 線光電子分光で調べ、界面 Schottky 障壁高さの違いが界面ダイポールによることを明らかにした。また、絶縁体同士の接合で界面伝導層が出現する系として注目されている  $\text{LaAlO}_3$  /  $\text{TiO}_2$  終端  $\text{SrTiO}_3$  界面状態を *in situ* 光電子分光で調べ、伝導層は Ti 3d 軌道での電子ドーピング ( $\text{Ti}^{3+}$  化) ではなく、酸素欠損による電荷蓄積によるものであることを初めて見出した。

#### ii) コンビナトリアル PLD 成長酸化物磁性体の解析

コンビナトリアル手法を用いたレーザー-MBE 法によって  $\text{LaMnO}_3$ - $\text{LaNiO}_3$ - $\text{LaCoO}_3$  組成傾斜薄膜など複合酸化物薄膜を作製し、微小部 SQUID, X 線回折、電気抵抗  $\rho$ -T、断面 TEM などの評価を行った後に、光電子顕微鏡によるイメージング、ナノ領域光電子分光を行い、ナノ領域電子状態 (フェルミ準位近傍) と物性の相関を解明する。

#### ④抵抗変化型不揮発メモリの解析

##### i) 光電子顕微鏡による抵抗変化型 Pt/CuO/Pt 素子の抵抗変化機構解明

スパッタ法で堆積した CuO 薄膜に Pt 電極パターンを形成した抵抗変化型不揮発メモリにパルス電界を印加して導電パス (ブリッジ領域) を形成させ、その領域の X 線吸収分光 (XAS) による化学状態イメージング ( $\text{CuO}$ ,  $\text{Cu}_2\text{O}$ , Cu という Cu 酸化数識別イメージング) を行うことで、抵抗変化メカニズムを明らかにした。具体的には  $\text{SiO}_2$  上に CuO 薄膜を堆積させ、その上に Pt 電極パターンを形成して、両電極間に電圧印加を行うことで抵抗変化型不揮発メモリ素子とした。この CuO チャネル領域について、Cu 2p $\rightarrow$ 3d の XAS 還元状態イメージングを行ったところ、Pt 電極部の飛び出した位置 (凸部) 同士で電流パスが形成されて CuO (2 価) から Cu (0 価) あるいは  $\text{Cu}_2\text{O}$  (1 価) に還元される様子が明瞭に観測された。この領域が電極付近だけでなく比較的均一に広がっていることから、電界還元ではなくジュール熱による化学反応の

可能性が高いことを見出した。

##### ii) PLD 成長 ReRAM の *in situ* 光電子分光解析

積層型 ReRAM として注目されている Al/ $\text{Pr}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$  系で界面に  $\text{Al}_2\text{O}_3$  絶縁層が形成され、この絶縁層を介して電流の on-off が行われることを *in situ* 光電子分光によって明らかにした。具体的には、酸化還元反応で Al/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ /Mn/MnO $_x$ / $\text{Pr}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$  という多層構造が形成され、界面 AlO $_x$  層中電荷トラップによって高抵抗—低抵抗のスイッチングが行われることを見いだした。

#### ⑤触媒化学・表面化学への応用

燃料電池用負極触媒 (Pt, Ru) / 電解質膜 / 正極触媒 (Pt, Co) 構造で運転経過で劣化した試料の斜めカット断面に放射光マイクロビームを走査して Pt, Co 元素の異常拡散を調べる手法を開発した。さらに、非白金系正極触媒として大きな注目を集めているカーボンアロイ触媒について硬 X 線光電子分光および X 線吸収分光によって不純物元素である窒素の電子状態を明らかにし、新しい触媒開発の指針を得た。これをもとに、白金に匹敵する非白金系正極触媒 (開始電圧約 1 V, 出力密度 0.5 W/cm $^2$  以上) を実現した。

#### ⑥埋もれた界面の硬 X 線 PEEM イメージング

Si 基板の上にリソグラフィにより Au の微細構造を作製した後、Co 薄膜 (膜厚: 50, 100 & 200 nm) でキャップした試料を作製し、Au L 吸収端近傍の X 線を用いてイメージングを行い、200 nm の厚いキャップ層で埋め込んだ試料においても同様に Au の微細構造が明瞭に観察されることを見いだした。このメカニズムについて、プラズモン励起などのモデルを提唱した。さらに汎用性のある硬 X 線光電子顕微鏡システムを SPring-8 と共同で開発し、微小部 EXAFS 解析が広く行えるような実験環境を整備していく。

#### ⑦時間分解 XMCD—PEEM

サブナノ秒の時間分解能で、元素選択的に磁化ダイナミクスを明らかにすること目的として、SPring-8 の円偏光硬 X 線ビームラインを用いて時間分解 XMCD—PEEM の検討を行った。現在までに 203 バンチに完全同期させた磁場パルスが発生させることが出来、100psec 単位の任意の遅延時間でディレイをかけられることも確認した。また、幅 15  $\mu\text{m}$  のマイクロストリップライン上に作製した 5  $\mu\text{m}$  の試料の像を KB ミラーによるマイクロビームにより観察することが出来た。

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 96 件)

1. M. Kotsugi, T. Wakita, T. Taniuchi, K. Ono, M. Suzuki, N. Kawamura, M. Takagaki, T. Nakamura, M. Taniguchi, K. Kobayashi, M. Oshima, N. Ishimatsu and H. Maruyama, 査読有, "Novel magnetic domain structure in iron meteorite induced by the presence of  $L1_0$ -FeNi" Appl. Phys. Express **3**, 013001 (2010).
2. 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", 査読有, Appl. Phys. Lett. **96**, 162902 (2010).
3. H. Niwa, K. Horiba, Y. Harada, M. Oshima, T. Ikeda, K. Terakura, J. Ozaki, and S. Miyata, "X-ray absorption studies of electronic structures in carbon alloy cathode catalysts for PEFC", 査読有, J. Power Sources **187**, 93 (2009).
4. M. Kitamura, I. Ohkubo, M. Matsunami, H. Kumigashira, K. Horiba, Y. Matsumoto, H. Koinuma, and M. Oshima, "Electronic structure characterization of  $La_2NiMnO_6$  epitaxial thin films using synchrotron-radiation photoelectron spectroscopy", 査読有, Appl. Phys. Lett. **94**, 262503 (2009).
5. M. Kobayashi, S. Hidai, H. Niwa, Y. Harada, M. Oshima, Y. Horikawa, T. Tokushima, S. Shin, Y. Nakamori and T. Aoki, "Co oxidation accompanied with degradation of Pt-Co alloy cathode catalyst in polymer electrolyte fuel cell", 査読有, Phys. Chem. and Chem. Phys. **11**, 8226-8230 (2009).
6. R. Yasuhara, K. Fujiwara, K. Horiba, H. Kumigashira, M. Oshima and H. Takagi, "Inhomogeneous chemical states in resistance-switching devices with a planar-type Pt/CuO/Pt structure", 査読有, Appl. Phys. Lett. **95**, 012110 (2009).
7. X.P. Dong, K. Ono, "Synthesis of Mn-substituted titania nanosheets and ferromagnetic thin films with controlled doping", 査読有, Chem. Mater. **21**, 4366-4373 (2009).
8. M. Minohara, Y. Furukawa, R. Yasuhara, H. Kumigashira, and M. Oshima, "Orientation dependence of the Schottky barrier height for  $La_{0.6}Sr_{0.4}MnO_3/SrTiO_3$  heterojunctions", 査読有, Appl. Phys. Lett. **94**, 242106 (2009).
9. K. Tsubouchi, I. Ohkubo, H. Kumigashira, Y. Matsumoto, T. Ohnishi, M. Lippmaa, H. Koinuma, and M. Oshima, "Epitaxial growth and surface metallic nature of  $LaNiO_3$  thin films", 査読有, Appl. Phys. Lett. **92**, 262109 (2008).
10. R. Yasuhara, T. Taniuchi, H. Kumigashira, M. Oshima, F.Z. Guo, K. Ono, T. Kinoshita, K. Ikeda, G-L Liu, Z. Liu, and K. Usuda, "Application of SPELEEM to high-k gate dielectrics: relationship between surface morphology and photoelectron spectra during Hf-silicide formation", 査読有, Appl. Surf. Sci. **254**, 4757-4761 (2008).
11. K. Yoshimatsu, R. Yasuhara, H. Kumigashira and M. Oshima, "Origin of metallic states at the heterointerface between the band insulators  $LaAlO_3$  and  $SrTiO_3$ ", 査読有, Phys. Rev. Lett. **101**, 026802 (2008).
12. T. Taniuchi, T. Wakita, M. Takagaki, N. Kawamura, M. Suzuki, T. Nakamura, K. Kobayashi, M. Kotsugi, M. Oshima, H. Akinaga, H. Muraoka and K. Ono, "Development and Trial Measurements of Hard X-ray Photoelectron Emission Microscope", 査読有, AIP Conf. Proc. **879**, 1353-1356 (2007).
13. T. Taniuchi, T. Wakita, M. Takagaki, N. Kawamura, M. Suzuki, T. Nakamura, K. Kobayashi, M. Kotsugi, M. Oshima, H. Akinaga, H. Muraoka and K. Ono, "Development and Trial Measurements of Hard X-ray Photoelectron Emission Microscope", 査読有, American Institute of Physics Conf. Proc. **879**, 1353 (2007).
14. Kubota, T. Taniuchi, R. Yasuhara, H. Kumigashira, M. Oshima, K. Ono, H. Okazaki, T. Wakita, T. Yokoya, H. Akinaga, M. Lippmaa, M. Kawasaki and H. Koinuma, "Magnetic domain structure of a technologically patterned  $La_{0.6}Sr_{0.4}MnO_3$  thin film", 査読有, Appl. Phys. Lett. **91**, 182503 (2007).
15. K. Tsubouchi, I. Ohkubo, H. Kumigashira, M. Oshima, M. Lippmaa, T. Ohnishi, Y. Matsumoto, K. Itaka, and H. Koinuma, "High-throughput characterization of metal electrode performance for electric-field-induced resistance switching in metal- $Pr_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ -metal structures", 査読有, Adv. Materials **19**, 1711 (2007).
16. M. Kotsugi, T. Wakita, N. Kawamura, T. Taniuchi, K. Ono, M. Suzuki, M. Oshima, N. Ishimatsu, M. Taniguchi, and H. Maruyama, "Application of photoelectron emission microscopy (PEEM) to extraterrestrial materials", 査読有, Surf. Sci. **601**, 4764 (2007).
17. T. Wakita, T. Taniuchi, K. Ono, M. Suzuki, N. Kawamura, M. Takagaki, H. Miyagawa, F.Z. Guo, T. Nakamura, T. Muro, H. Akinaga, T. Yokoya, M. Oshima and K. Kobayashi, "Hard X-ray photoelectron microscopy as a tool to study buried interfaces", 査読有, Jpn. J. Appl. Phys. Part 1, **45**, 1886-1888 (2006).
18. M. Oshima, H. Takahashi, J. Okabayashi, S. Toyoda, H. Kumigashira, M. Inoue, M. Mizutani,

and J. Yugami, "Band offsets and chemical bonding states in N-plasma-treated HfSiON gate stacks studied by photoelectron spectroscopy and x-ray absorption spectroscopy", 査読有, J. Appl. Phys. **100**, 033709-33713 (2006).

19. T. Taniuchi, H. Kumigashira, M. Oshima, T. Wakita, T. Yokoya, M. Kubota, K. Ono, H. Akinaga, M. Lippmaa, M. Kawasaki and H. Koinuma, "Observation of in-plane magnetic domain formation in La<sub>1-x</sub>Sr<sub>x</sub>MnO<sub>3</sub> thin films by photoelectron emission microscopy; the competition between the step-induced magnetic anisotropy and the magnetocrystalline anisotropy, 査読有, Appl. Phys. Lett. **89**, 112505-112508 (2006).

20. M. Kotsugi, T. Wakita, T. Taniuchi, K. Ono, M. Suzuki, N. Kawamura, M. Takagaki, M. Taniguchi, K. Kobayashi, M. Oshima, N. Ishimatsu, H. Maruyama, "Local electronic structure analysis using a photoelectron emission microscope (PEEM) with hard X-ray", 査読有, e-journal of surface science and nanotechnology vol. **4** (2006) 490-493.

21. T. Taniuchi, M. Oshima, H. Akinaga and K. Ono, "Vortex chirality control in mesoscopic disk magnets observed by PEEM", 査読有, J. Electron Spec. Rel. Phenom. **144-147**, 741-744 (2005).

22. T. Taniuchi, M. Oshima, H. Akinaga and K. Ono, "Vortex chirality control in mesoscopic disk magnets observed by photoelectron emission microscopy", 査読有, J. Appl. Phys. **97**, 10J904-10J905 (2005).

[学会発表] (計 146 件)

M. Oshima "In-situ photoelectron spectroscopy and photoemission electron microscopy for local electronic and magnetic structures of transition metal oxide thin films" Int'l Symposium on Surface Science and Nanotechnology, November 9-13, 2008, Int'l Conference Center Waseda University, Tokyo Japan

[図書] (計 2 件)

1. 尾嶋「第2章グリーンナノテクを支える放射光」分担執筆：高橋、加藤編「シンクロトロン放射光物質科学最前線」アドスリー出版 2010 年

2. 尾嶋「第6章カーボンアロイ触媒のキャラクターゼーション」分担執筆：宮田監修「カーボンアロイ触媒」シーアイエス出版 2010 年

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.oshimalab.t.u-tokyo.ac.jp/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

尾嶋 正治 (OSHIMA MASAHARU)

東京大学・大学院工学系研究科・教授

研究者番号：30280928

### (2) 研究分担者

組頭 広志 (KUMIGASHIRA HIROSHI)

東京大学・大学院工学系研究科・准教授

研究者番号：00345092

大久保 勇男 (OHKUBO ISAO)

東京大学・大学院工学系研究科・助教

研究者番号：20376487

堀場 弘司 (HORIBA KOJI)

東京大学・大学院工学系研究科・助教

研究者番号：10415292 (H19~21)

小野 寛太 (ONO KANTA)

高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・准教授

研究者番号：70282572

岡林 潤 (OKABAYASHI JUN)

東京大学・大学院工学系研究科・助手

研究者番号：70361508 (H17)

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：