

令和 2 年 6 月 5 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17H02739

研究課題名（和文）高精度位置分解EELS法の開発と界面電子状態の解析

研究課題名（英文）Development of high-accuracy spatial resolution EELS and analysis of electronic state at interfaces

研究代表者

倉田 博基（Kurata, Hiroki）

京都大学・化学研究所・教授

研究者番号：50186491

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,600,000円

研究成果の概要（和文）：原子分解能で電子構造情報を2次元にマッピングする新しい手法を開発した。これは、多数のスペクトラムイメージデータを積算するマルチフレーム方式に立脚している。新規手法を用いて、高温超伝導体の酸素ホールの原子分解能マッピングに初めて成功した。また、界面などの異方的な電子構造の方向性を探索するのに適した運動量選択高空間分解能STEM-EELS法を開発し、SrTiO<sub>3</sub>における酸素の結合方向に依存した内殻電子励起スペクトルの微細構造を原子レベルで計測することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

元素分布だけでなく物質の電子構造情報を原子分解能で2次元マッピングが可能になったことは、局所領域の化学を探索するうえで強力なツールが開発されたものとして意義がある。さらに、異方的な電子構造を原子レベルで解析できる手法の開発は、これまで犠牲にされていた空間情報が明らかにされ、その有用性が広がった。このような分析手法の開発は、社会的に有用な様々な機能性材料を分析する基盤技術の進歩として意義がある。

研究成果の概要（英文）：We have developed a new method to map electronic structure information in two dimensions with atomic resolution. This is based on the multi-frame method that integrates a large number of spectrum image data. For the first time, we have succeeded in atomic resolution mapping of oxygen holes in a high temperature superconductor using a new method. We have developed a momentum-selective high spatial resolution STEM-EELS method suitable for exploring the directionality of anisotropic electronic structures such as interfaces, and have succeeded in the measurement of inner-shell excitation spectra with atomic level resolution depending on the oxygen bonding direction in SrTiO<sub>3</sub>.

研究分野：結晶化学

キーワード：電子エネルギー損失分光法 電子顕微鏡 状態分析 マッピング

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

透過電子顕微鏡に組み込まれている電子レンズの球面収差を補正する技術の開発により、従来観察が困難であった軽元素を含めた原子配列の直接観察が可能になった。さらに、原子分解能像から原子位置を精密に計測することにより、単結晶基板上にエピタキシャル成長したペロブスカイト型酸化物 ( $ABO_6$ ) 薄膜のヘテロ界面における格子歪みや、 $BO_6$  八面体の傾斜角度が連続的に変化した緩和層の存在などを明らかにされてきた。これらの計測では、主に走査型透過電子顕微鏡 (STEM) が用いられてきたが、高品質の画像を得るために短時間の露光時間で撮影された画像フレームを多数測定し、フレーム間の相関を取り位置ずれを補正したのち積算するマルチフレーム方式により達成されてきた。

一方、最新の分析電子顕微鏡では、電子エネルギー損失分光法 (EELS) を複合することで、原子分解能レベルで元素マップも取得できるようになっているが、スペクトルの微細構造を利用した電子結合状態を反映した状態マッピングを原子分解能で実現するには至っていなかった。これは、スペクトル信号が電子の非弾性散乱に起因しており、その強度が極めて微弱であるため、高品質 (S/N 比が高い) のスペクトルデータを得るには、STEM 画像に比べて 1 フレームのデータを取得するのに 3 桁程度長い時間を要するため、種々の装置不安定性の除去が困難であったことによる。しかし、原子分解能レベルの高い空間分解能で電子状態を解析することは、局所領域の化学を明らかにするうえで強く望まれている課題であった。

### 2. 研究の目的

本研究では、STEM 画像の精密解析において成果を挙げたマルチフレーム方式をさらに高度化することにより、位置分解 EELS データを高い空間分解能で S/N 比良く多数計測する新しい手法の開発を目的とした。新たに開発した局所スペクトルデータ計測法を、遷移金属酸化物等の観察に適用し、電子構造情報を含んだ原子分解能マッピングを行う。さらに、界面や構造欠陥が精密に解析された領域における、化学結合状態や電子構造の方向性を解明する新しい手法の開発を目指した。特に、X 線回折や中性子線回折などのような平均構造解析手法では解析が困難な系について、新規手法を適用し高い空間分解能で局所領域の構造と化学状態を明らかにする。

### 3. 研究の方法

新規に開発するスペクトル計測法では、(a) 高空間分解能 STEM と高エネルギー分解能 EELS の融合計測と (b) STEM 像と EELS スペクトルの同時計測が不可欠である。(a) については、球面収差補正された STEM にモノクロメータを搭載した装置を用いることで、0.1 nm の空間分解能と 0.1 eV のエネルギー分解能を実現した。(b) については、スペクトラムイメージング手法を適用することで、電子プローブの走査に同期して、高角度に散乱された信号を円環状検出器で STEM 信号を取得すると同時に、円環状検出器を通過した小角度散乱電子をエネルギー分析装置に取り込むことで位置分解された EELS スペクトルデータを取得した。上述したように、STEM 像データと EELS データの計測時間は大きく異なるため、スペクトルイメージデータの計測においては、従来の STEM 像計測に用いたマルチフレーム方式では対応できない位置情報の歪みが残留する。そこで新たなデータ処理法を開発し、高精度高空間分解能 EELS 計測法を構築した。

新規手法の有用性を実証するために、高温超伝導体のホールマッピングを原子分解能で行った。また、界面などの異方的な領域における結合方向性を原子分解能で測定する新しい手法として、運動量選択高空間分解能 STEM-EELS 法の開発も行い、 $SrTiO_3$  結晶における酸素 K 殻スペクトルによる実証実験を行った。

### 4. 研究成果

#### (1) 高精度高空間分解能 EELS 計測法の開発

STEM-EELS 法を用い高い空間分解能で電子状態分析を行う事を目的に、新規の計測・処理法を開発した。要素となる開発技術は二つあり、一つはマルチフレーム方式の高度化、二つ目は極めて微弱な非弾性散乱信号に対する検出器のノイズを効率的に除去する方法の開発である。マルチフレーム方式の高度化に関しては、プローブ走査 1 点当たりの EELS 計測時間の長さ (通常数 10 ms 程度) を考慮し、1 フレームの測定時間内に生じる試料ドリフト等による画像の歪みを、同時計測された HAADF 像を用いて非剛直なアルゴリズムで補正した。さらに、広域から測定された 1 フレームデータから等価なモチーフを多数切り出し、それらモチーフ間の相互相関を取り積算することで S/N 比の大幅な改善を行った。図 1 には、切り出されたモチーフ 1 画像 (a) と歪み補正をしたのちの画像 (b) を示す。(a) では白い輝点として観察される原子の配列がゆがんでいるが、(b) ではそれが補正されていることがわかる。STEM-EELS 法では、このような 2 次元画像の各点において EELS スペクトルのデータが計測されている。このような位置分解されたスペクトラムイメージ (SI) データは 3 次元データキューブとなっているが、HAADF を用いた歪み補正後の SI データを多数積算することで、各場所におけるスペクトル

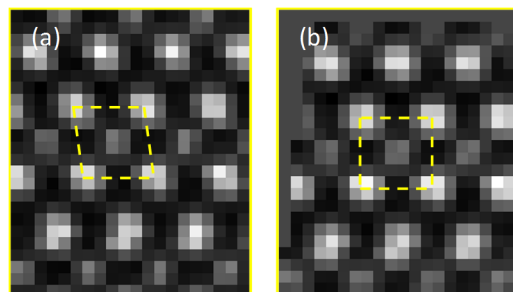


図 1 SI データの位置歪み補正

ルの S/N 比を向上させた。図 2 は、BN から測定された BK 殻励起スペクトルを示す。(a) は積算する前の SI データの 1 点におけるスペクトルデータ、(b) は 10,000 本のスペクトルを積算したものである。(a) では信号強度が数 10 カウント程度あるため、極めてノイズが多いスペクトルで電子構造を反映した微細な構造を判別することができない。一方、(b) では積算の結果ノイズが大幅に低減し、微細構造が明瞭に観察されるため、電子状態分析に利用できるようになる。

このようなスペクトル積算処理において、検出器として用いている CCD のノイズを正確に見積もることが極めて重要であることが本研究により明らかになった。そのため、統計学的な考察を加えた検出器ノイズの除去法を検討した。その結果、SI データを計測する際には、CCD のダーク信号を積算し平均することでダーク信号を正確に求める必要があるが、その積算回数は非弾性散乱信号のカウント数に依存しているため、その最適な積算数を導出した。図 3 は CCD 検出器の 1 ピクセルにおけるダーク信号の変動を示す。ダーク信号の平均カウント数は 542.2 に収束しているが、積算回数 ( $n_a$ ) が 200 と少ない場合には、その平均カウント数は 5 カウント程度変動していることがわかる。このような大きな変動は、ダークノイズの除去が不完全になってしまい、積算によるスペクトルのノイズ低減が効果的になされず、カウント数の少ない信号を検出する際には不十分であることがわかる。一方、積算回数  $n_a$  を多くし  $n_a = 20,000$  の場合、ダーク信号の平均カウント数の変動は 0.2 カウントに抑えられることが明らかになった。その結果、このように精度の高いダーク信号を用いることで、スペクトル信号強度として 1 ピクセル当たり 1 カウント程度の微弱な信号も、スペクトルの積算を 10,000 から 40,000 程度にすることで、極めて S/N 比の高いスペクトルを構築することができることを明らかにした。このようなダーク信号は CCD ピクセルごとに異なるため、ピクセルごとにそれらを正確に求めることはスペクトルの積算による S/N 比の改善において本質的に重要であることが明らかになった。

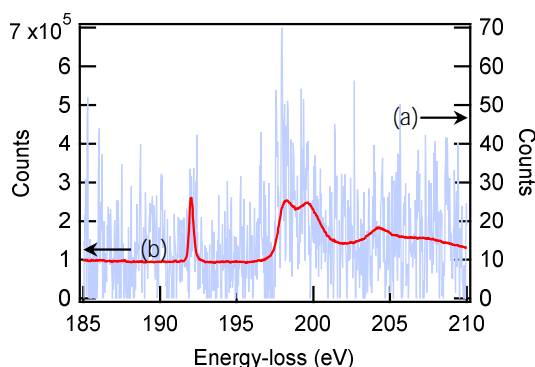


図 2 スペクトルの積算処理の効果

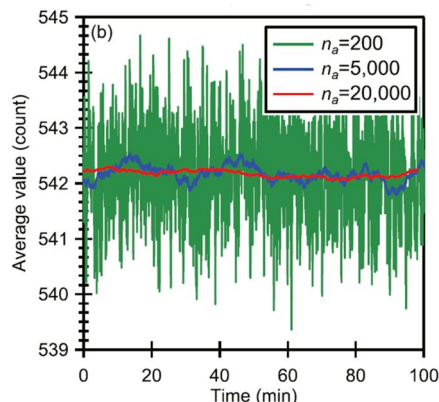


図 3 CCD ダーク信号の積算回数に依存した変動

## (2) 高温超伝導体 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ の原子分解能ホールマッピング

高温超伝導体の伝導には酸素のホールが関与していることが知られており、ホールサイトの検出については多くの研究がなされてきたが、原子分解能のレベルでそれを二次元的に可視化した例はこれまでになかった。本研究課題で開発された新規の高精度高空間分解能 EELS 計測法を用いて、 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$  の原子分解能ホールマッピングを行った。Sr をドーピングすることにより酸素 2p バンドにホールが生成するが、EELS の酸素 K 殻吸収端微細構造 (ELNES) では、酸素 2p ホールへの遷移が弱いプレピークとして観察される (図 4 (a) 矢印)。しかし、この遷移がどの酸素サイトで生じているかは、

原子分解能のホールマッピングで可視化しない限り明らかにはできない。そこで、酸素 K 殻 ELNES の高精度マルチフレーム SI 法による原子分解能測定を行った。図 4 (b) は同時に測定された原子分解能 HAADF 像である。この結像では軽元素である酸素の強度は観察されないが、SI データで得られた酸素 K 殻スペクトルの広いエネルギー範囲の強度を用いてマッピングすると、図 4 (c) に示すように、酸素原子のみが明瞭に観察される。このマップは元素マップであるため、電子構造情

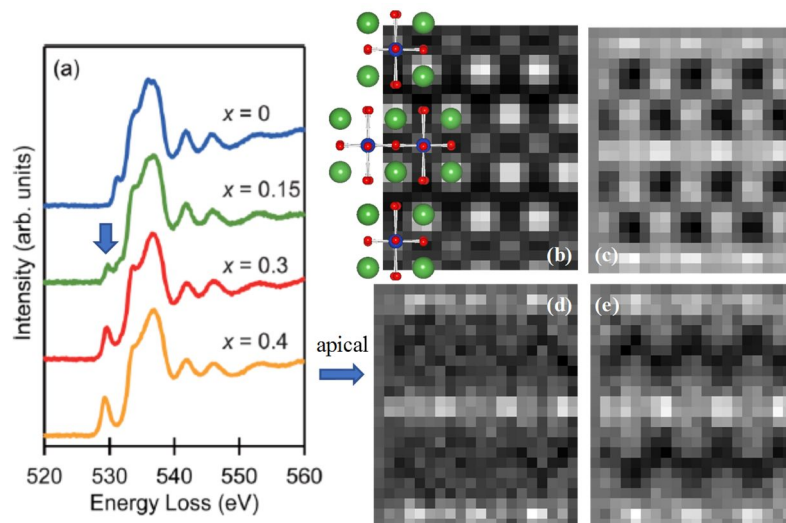


図 4  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$  の酸素 K 殻 ELNES と酸素ホールマッピング



報は含まれていない。スペクトルで見られるプレピークの強度のみを用いてマッピングすると、酸素原子位置の中でホールがドーパされた酸素位置のみが可視化される。図4(d)は、Srのドーパ量が  $x = 0.15$  の時のホールマップである。(c)の酸素元素マップと比較して、CuO 面内にある酸素位置のみが明るくなっていることがわかり、ホールは面内サイトの酸素に選択的にドーパされていることを示している。さらにSrのドーパ量が  $x = 0.30$  の時のマップ(e)では、面内サイトのみならずアピカルサイトの酸素位置も明るくなっていることがわかり、オーバードーパされたホールはアピカルサイトに分布するという結果を、原子分解能観察により世界で初めて実証することができた。

一連の測定において、酸素ホールに起因するスペクトル強度は電子線照射に極めて敏感で、電子線量を低く抑える必要があった。そのため、1点当たりのスペクトルの信号強度は極めて微弱になるため、マルチフレームで積算するモチーフ数は10,000を超える数が必要であった。その際、上述したように検出器のダーク信号を精度よく測定し除去することが不可欠であった。このような新規の計測法は、電子線照射に敏感な材料にも適用できることが示されたため、今後多くの材料にも応用されることが期待される。さらに、この実験では元素のみならず電子状態の二次元可視化が原子分解能でなされた点においても意義は大きい。電子状態マッピングの困難さは、それに利用するスペクトル信号の微弱さに起因していた。本研究で開発された手法によりそれを克服できることが実証され、今後、原子分解能電子状態マッピングという新しい研究分野が拓けていくものと期待される。

### (3) 運動量選択高空間分解能 STEM-EELS 法の開発

界面における局所状態解析では、界面に平行な方向と垂直な方向での電子構造の解明が重要となる。従来のスペクトル法では、角度分解もしくは運動量分解されたスペクトルを測定することにより、方向に依存性した電子構造情報を得ていた。しかし、この方法では空間的には広い情報が積分されているため、局所領域の計測には対応できない。本研究では、原子分解能 STEM-EELS 法に運動量選択機能を付加することにより、原子レベルの空間分解能を保持しつつ、化学結合の方向性に依存したスペクトルを計測する手法を開発した。

図5には、新たに提案した運動量選択 STEM-EELS 法の測定原理を示す。通常、STEM-EELS 法では原子サイズレベルに集束した電子プローブを試料表面上で走査し、透過した電子のうち非弾性散乱した電子をエネルギー分析しスペクトルにする。その際、エネルギー分析装置には有限の角度で電子は取り込まれるが、その取り込み絞りは光軸上にセットされる。微小電子プローブの形成には集束角度は数 10 mrad 程度必要であるため、たとえ取り込み角度を小さく制限したとしても、集束角度分の角度情報は積分されるため、運動量分解能は低下し、方向に依存したスペクトルを得ることは困難であった。本研究では、取り込み絞りを光軸上から特定方向にずらすことで、方向に依存した電子構造情報を得ることに成功した。さらに、スペクトル測定の際には、原子分解能像を観察しつつ、取り込み絞りのシフト方向に垂直もしくは平行な原子列のみを走査することにより、結晶学的には等価な原子サイトにおいても、その原子の化学結合の方向性に関する情報を得ることができた。

図6は、SrTiO<sub>3</sub> 結晶から測定された運動量選択酸素 K 殻励起スペクトルである。SrTiO<sub>3</sub> 結晶の単位胞内には結晶学的に等価な酸素原子が3つ存在する。それらの酸素が形成する結晶場は、中心の Ti 原子の 3d バンドに影響を与え、 $t_{2g}$  および  $e_g$  バンドに分裂させる。分裂したそれぞれのバンドと O の 2p バンドの間には混成が生じるため、酸素 K 殻励起スペクトルにおいてそれぞれのバンドへの遷移がピーク A および B として観察される。特に、 $e_g$  バンドにおける Ti と O の結合は  $\sigma$  結合性であるため、ピーク B の強度はそれぞれの酸素サイトから Ti 原子に指向した方向依存性を有する。すなわち、図5で示した SrTiO<sub>3</sub> 結晶の単位胞において、x 軸上にある O1 サイトと y 軸上にある O2 サイトでは、 $e_g$  バンドに寄与する結合は方向性が 90°

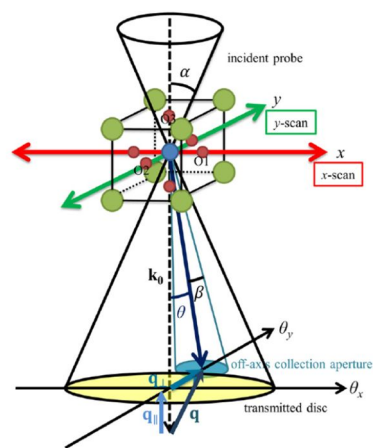


図5 運動量選択 STEM-EELS の原理

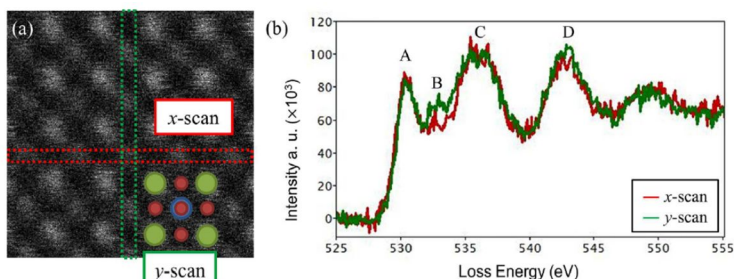


図6 SrTiO<sub>3</sub>のHAADF像(a)と運動量を選択した酸素K殻

異なっている。ここで、スペクトルの取り込み絞りを y 軸方向にシフトさせた状態で、02 サイト上近傍を y 軸方向に電子プローブで走査させながらスペクトルを取得すると、 $e_g$  バンドへの遷移であるピーク B が顕著に観察されることが明らかになった。それに対して、取り込み絞りを y 軸方向にシフトさせたままで、01 サイト上近傍を x 軸方向に電子プローブで走査させた場合、ピーク B の強度はほとんど消失した。これは、結晶学的には等価な 01 と 02 サイトに対し、それぞれの原子における結合の方向性に依存した電子構造を、原子レベルの高い空間分解能で検出することに成功したことを意味する。このような新規の運動量選択 STEM-EELS 法の結果は、第一原理バンド構造計算によるスペクトル計算結果とも良い一致を示した。さらに、運動量選択 EELS の計算を詳細に行う事により、結合の方向性を顕著に抽出するためのスペクトル取り込み絞りの最適なシフト量も決定した。

本研究で新規に開発された運動量選択 STEM-EELS 法は、空間分解能を犠牲にすることなく電子構造の方向性を探る新しいスペクトル法として意義がある。特に、ヘテロ界面のように局所領域において化学結合に異方性が生じる系に対しては、界面近傍を原子レベルで観察しながらその電子構造の異方性を探索することが可能になるため、今後さらなる応用が期待される。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Mitsutaka Haruta, Hiroki Higuchi, Takashi Nemoto, and Hiroki Kurata	4. 巻 113
2. 論文標題 Local quantification of coordination number for perovskite-related oxides using atomic resolution EELS maps	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Lett.	6. 最初と最後の頁 082110-1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/1.5041063	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 A. Yamaguchi, M. Haruta, T. Nemoto, and H. Kurata	4. 巻 113
2. 論文標題 Probing directionality of local electronic structure by momentum-selected STEM-EELS	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Lett.	6. 最初と最後の頁 053101-1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/1.5040312	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Mitsutaka Haruta, Yoshifumi Fujiyoshi, Takashi Nemoto, Akimitsu Ishizuka, Kazuo Ishizuka, Hiroki Kurata	4. 巻 97
2. 論文標題 Atomic resolution two-dimensional mapping of hole in cuprate superconductor $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_4\pm$	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 205139-1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.97.205139	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 M. Haruta, Y. Fujiyoshi, T. Nemoto, A. Ishizuka, K. Ishizuka and H. Kurata	4. 巻 207
2. 論文標題 Extremely low count detection for EELS spectrum imaging by reducing CCD read-out noise	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Ultramicroscopy	6. 最初と最後の頁 112827-1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） <a href="https://doi.org/10.1016/j.ultramic.2019.112827">https://doi.org/10.1016/j.ultramic.2019.112827</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ming-Wei Lai and Hiroki Kurata	4. 巻 191
2. 論文標題 Understanding ordered structure in hematite nano whiskers synthesized via thermal oxidation of iron-based substrates	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials & Design	6. 最初と最後の頁 108596-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.108596">https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.108596</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 治田充貴、倉田博基	4. 巻 61
2. 論文標題 STEM-EELSによる局所元素・電子構造解析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本結晶学会誌	6. 最初と最後の頁 7-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 治田充貴、倉田博基	4. 巻 54
2. 論文標題 電子エネルギー損失分光法による高空間分解能元素・電子状態測定	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 セラミックス	6. 最初と最後の頁 77-80
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計22件(うち招待講演 13件/うち国際学会 7件)

1. 発表者名 M. Haruta, Y. Fujiyoshi, T. Nemoto, A. Ishizuka, K. Ishizuka, and H. Kurata
2. 発表標題 Distribution of electron hole in La <sub>2-x</sub> Sr <sub>x</sub> CuO <sub>4</sub>
3. 学会等名 8th International Workshop on Electron Energy Loss Spectroscopy and Related Techniques (EDGE 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ming-Wei Lai, Mitsutaka Haruta, Takashi Nemoto and Hiroki Kurata
2. 発表標題 Studying Ordered Defect Structures in $\text{-Fe}_{203}$ Nanowhiskers by Negative Spherical Aberration TEM and Monochromated STEM-EELS
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第73回学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 治田充貴、藤吉好史、根本隆、石塚顕在、石塚和夫、倉田博基
2. 発表標題 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ におけるホール分布
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第73回学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 倉田博基
2. 発表標題 精密構造観察と状態分析
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第60回記念シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 倉田博基
2. 発表標題 高エネルギー分解能STEM-EELSによる電子状態分析
3. 学会等名 日本顕微鏡学会北海道支部講演会（招待講演）
4. 発表年 2017年



1. 発表者名 樋口弘樹, 治田充貴, 根本隆, 倉田博基
2. 発表標題 ペロブスカイト関連酸化物における配位数の高分解能評価に関する研究
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第74回学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 新居あおい, 治田充貴, 倉田博基
2. 発表標題 モノクロメータ搭載STEM-EELS法によるCa <sub>2</sub> Fe <sub>1.07</sub> Mn <sub>0.93</sub> O <sub>5</sub> の局所電子構造解析
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第74回学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Haruta, Y. Fujiyoshi, T. Nemoto, A. Ishizuka, K. Ishizuka, and H. Kurata
2. 発表標題 Direct observation of hole in cuprate superconductor using STEM-EELS
3. 学会等名 18th International Microscopy Congress (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mitsutaka Haruta and Hiroki Kurata
2. 発表標題 High resolution quantitative analysis of elemental ratio using STEM-EELS
3. 学会等名 International conference on Microscopy & XXXIX Annual Meeting of Electron Microscope Society of India (EMSI2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mitsutaka Haruta, Hiroki Higuchi, Takashi Nemoto and Hiroki Kurata
2. 発表標題 EELS mapping of chemical information
3. 学会等名 12th Japanese-Polish Joint Seminar on Micro and Nano Analysis (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 倉田博基
2. 発表標題 分析電子顕微鏡による局所状態分析
3. 学会等名 第3回 固体化学フォーラム (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Haruta, and H. Kurata
2. 発表標題 High Spatial Resolution Electronic State Analysis of Transition Metal Oxides
3. 学会等名 International Conference of the Microscopy Society of Thailand (MST36) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 治田 充貴, 新居 あおい, 倉田 博基
2. 発表標題 結晶場多重項計算を用いた局所配位構造の導出
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第75回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 治田 充貴, 藤吉 好史, 根本 隆, 石塚 顕在, 石塚 和夫, 倉田 博基
2. 発表標題 CCDノイズ低減によるEELSスペクトルのSN比の改善
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第75回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 治田 充貴
2. 発表標題 内殻励起スペクトルの基礎と応用
3. 学会等名 第35回分析電子顕微鏡討論会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 倉田博基
2. 発表標題 電子顕微鏡：無機結晶からソフトマテリアルの観察
3. 学会等名 2019年度新材料・新技術利用研究会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 治田 充貴
2. 発表標題 STEM-EELSによる局所電子構造解析・電子状態マッピング
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第62回シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Kurata
2. 発表標題 High Energy Resolution Analysis by Monochromated STEM-EELS
3. 学会等名 International Conference of the Microscopy Society of Thailand (MST36) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Haruta
2. 発表標題 Extraction of Local Coordination Structure and Crystal Field Splitting Using Crystal Field Multiplet Calculation
3. 学会等名 12th Asia-Pacific Microscopy Conference (APMC-2020) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 治田 充貴
2. 発表標題 局所電子構造の精密計測
3. 学会等名 日本顕微鏡学会 超高分解能顕微鏡法分科会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩清水千咲、山口睦、治田充貴、倉田博基
2. 発表標題 STEM-EELS法によるELNESの電子プローブ位置変化の実験的検出
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第76回学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 倉田博基、治田充貴
2. 発表標題 STEM-EELSによる原子分解能状態分析に向けて
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第76回学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	治田 充貴  (Haruta Mitsutaka)  (00711574)	京都大学・化学研究所・准教授   (14301)	2019年12月に昇進
研究分担者	根本 隆  (Nemoto Takashi)  (20293946)	京都大学・化学研究所・助教   (14301)	