

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 2 日現在

機関番号：13302

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K22166

研究課題名（和文）STEMモアレフリンジ法による結晶内イオン伝導の空間的・時間的可視化

研究課題名（英文）Spatial and Temporal Visualization of Ion Conduction in Crystal by STEM Moire Fringe Method

研究代表者

大島 義文 (Oshima, Yoshifumi)

北陸先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授

研究者番号：80272699

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、ABF-STEMのSMFイメージングにより、高速充放電中のLMOナノワイヤーにおける膨張収縮バンドの動きを検出した。このバンドは、同時に測定したサイクリックボルタンメトリー（CV）の電流ピーク後のみ観測され、リチウムの輸送と強い相関があることが示された。膨張収縮バンド出現の前後で格子間隔が変化していないことから、Vegardの法則に基づき、膨張収縮バンドは高速充電プロセスにおいて単一相で移動するLi過剰バンドとLi欠乏バンドであると考えられる。この高速充電時のリチウム輸送挙動は、よく知られた平衡状態での拡散制限されたリチウム輸送と異なる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

リチウムイオン電池の長寿命化などを目指す上で、リチウムイオンの動きを理解することが極めて重要である。本課題では、高い分解能を有する透過型電子顕微鏡をベースとした顕微的オブランド計測法を提案している。本研究は、STEMモアレフリンジ法から得られる局所的な歪み分布から表面・内部・欠陥など場所によって異なる予想されるイオン濃度や速度分布を高分解能で可視化する手法を確立しようとしている。この手法の確立により固体イオニクス等の学術分野の発展に対して革新的変化をもたらそうとしている点に挑戦的研究としての意義がある。

研究成果の概要（英文）：In this study, ABF-STEM SMF imaging was used to detect the movement of expansion and contraction bands in LMO nanowires during fast charging and discharging. The bands were observed only after the current peak of cyclic voltammetry (CV), which was measured simultaneously, indicating a strong correlation with lithium transport. Since the lattice spacing did not change before and after the appearance of the expansion and contraction bands, based on Vegard's law, the expansion and contraction bands are considered to be Li excess and Li deficient bands that migrate in a single phase during the fast charging process. This lithium transport behavior during fast charging differs from the well-known diffusion-limited lithium transport in equilibrium.

研究分野：その場TEM観察

キーワード：その場TEM観察 リチウムイオン電池 歪み計測 STEM モアレフリンジ

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年、全固体型リチウムイオン電池や、原子スイッチを原理とした電子デバイスなど結晶内のイオンの動きを利用したデバイス開発が精力的に行われている。このような開発では、結晶内のイオン伝導を理解する必要がある。これまでに Maier[1]によって結晶内イオン伝導に関する理論が提案され、それを裏付ける実験結果も報告されている。しかし、イオン伝導の実験報告はまだ少なく、例えば局所的な伝導は明らかになっていない。伝導イオンの多くはリチウムや酸素などの軽元素であり、これらの検出が難しいことも理由の一つである。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、イオンの出入りによって変化するわずかな格子間隔の変化を検出することで、サブ 10nm という高い空間分解能でイオン分布や、表面・内部・欠陥など場所によって異なると予想されるイオン伝導速度の分布を得る手法、つまり、イオンの濃度や速度分布をシングルナノメートルスケールで可視化する手法を確立することである。本研究は、この手法の確立により固体イオニクスの学術分野の発展に対して革新的変化をもたらそうとしている点に挑戦的研究としての意義がある。

本研究では、正極ナノワイヤを用いた全固体型リチウムイオン電池を観察対象とする。リチウムイオンは、充電によって正極から電解質を経て負極に行き、放電によって正極に戻る。この充放電過程において、リチウムイオンが抜けることで格子間隔が縮まり、逆に、挿入されることで格子間隔が広がる (図(1)参照)。このような格子間隔の空間的・時間的変化を捉えることでリチウムイオン濃度や速度分布の可視化する点に本研究の独創性がある。図(2)は、正極材料であるマンガン酸リチウム ( $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ) 結晶から得た電子回折パターンであり、左から、放電する前、途中、そして終了直前に撮影したものである。リチウムが正極に戻るとともに、立方晶の状態から(110)格子間隔が広がった斜方晶が混在した状態になり、そして、(110)以外の格子間隔が広がることで正方晶へ変化の様子が捉えられている [2]。ただし、電子回折パターンから局所的な情報を得ることはできない。本研究では、顕微鏡的な手法によって可視化を実現する。

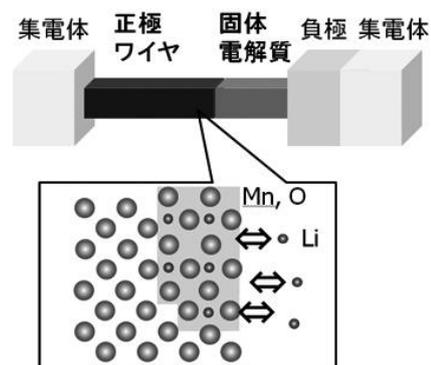
### 3. 研究の方法

#### (1) イオン伝導計測用 STEM ホルダーを開発する。

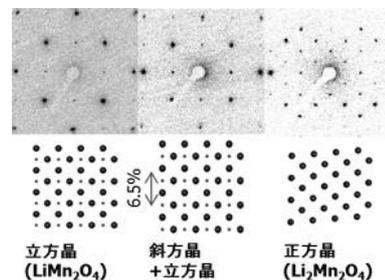
本研究では、比較的シンプルな系である全固体型リチウムイオン電池を観察対象とする。全固体型リチウムイオン電池は、正極として幅約 100nm 程度のナノワイヤを用いる。このナノワイヤは、フラックス法をベースとした成長方法で作製し、固体電解質や負極を接合させたものを用意する。これを、本研究で開発する走査型透過電子顕微鏡 (STEM) ホルダーに取り付けられている集電体の金属電極 (白金・銅) に担持し、電圧を印加することで電池反応を起こし、その様子を STEM 観察する (図(3)参照)。図 3 左下は、幅約 100nm のマンガン酸リチウム正極ナノワイヤを正極としたリチウムイオン電池のサイクリックボルタモグラムである [1]。幅約 100nm 程度のナノワイヤは、電池反応によるピークは 5pA レベルと非常に低いがノイズ対策を行うことで計測できていることを示す。

#### (2) STEM モアレフリンジ法を用いて空間的・時間的格子歪の変化をとらえる。

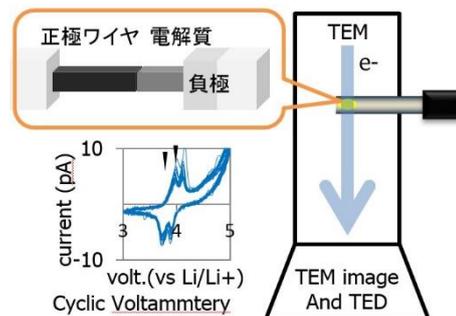
局所的な格子歪は、STEM モアレフリンジ法によって計測する。図(4)左は、原子カラムの配列を示しており、場所によって格子間隔が異なっている構造モデルを示している。STEM モアレフリンジ (図(4)右) とは、STEM 走査線 (図(4)中央) を原子カラム配列に重ねたパターンであり、走査線の間隔と格子間隔のずれに対応したうねり、モアレフリンジを検出できる。走査線の間隔



図(1)全固体リチウムイオン電池の概観図。挿入図の灰色部分はリチウムが挿入された領域。



図(2)  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  正極ナノワイヤの電解質界面付近、放電過程における構造変化を示す電子回折パターン。



図(3) 全固体リチウムイオン電池を用いたイオン伝導計測用ホルダーによる実験の構想図

が正確にわかっている場合、モアレフジンジの間隔から測定対象の格子間隔を正確に知ることができる。図5は、SiとSiGe界面で得られたモアレフリッジであり、サブ1pmの精度でSi(220)面の格子間隔が変化している様子を示している[2]。

### (3) 充放電プロセスにおける正極内リチウムイオンの濃度や伝導速度分布を可視化する。

図(5)に示したようなモアレフリッジのパターンは、約10秒で1枚得られる。各ピクセルの情報が位置と時間の関数になっており、イオン分布が時間的に変化する場合、複雑なパターンになることが予想される。研究代表者は、この複雑なパターンからリチウムイオンの分布や速度が求まると考えている。例えば、リチウムイオンがナノワイヤの軸に沿って平面波のように伝導する場合、モアレフリッジの間隔が異なる境界は、軸方向に対し傾く。この傾きは、リチウムイオンの伝導速度に対応している。また、仮に、ナノワイヤの表層部と内部でリチウムイオンの伝導速度に違いがある場合、モアレフリッジの間隔が異なる境界がS字のような曲線となる可能性がある。この曲線から、表層部や内部といった局所的なイオン伝導速度の違いを求めることが出来る。このようにモアレフリッジのパターンを解析し、局所的な濃度や伝導速度を可視化する。

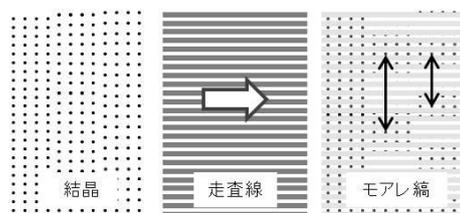
- [1] S. Lee, Y. Oshima et al. J. Phys. Chem. C117 (2013) 24236
- [2] S. Kim, Y. Oshima et al. APL 102 (2013) 161604.
- [3] S. Lee, Y. Oshima et al. ACS Nano 9 (2015) 626.

## 4. 研究成果

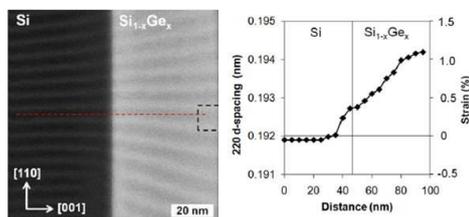
その場観察用マンガン酸リチウム(LMO)ナノワイヤ電池は、ナノワイヤ-LMO正極、イオン液体電解質(ILE)、Li4Ti5O12負極で構成した(図(6)①②)。LMOナノワイヤ正極は、Pt集電体とILEの間に架橋した。このナノワイヤ電池を自作の電気バイアス式TEM試料ホルダーにセットし、TEM内でサイクリックボルタメトリー(CV)により充放電を行った。電圧は3.8Vからスキャンし、0.55mV/sのスキャンレートで2.2Vから4.5V vs Li/Li+の範囲でサイクルさせた(図(6)③)。

図(6)③のCVにて、充電中、カソード電流は2.85V付近から増加し始め、3.15Vで電流ピークをもつ。さらに、3.35V付近でカソード電流は減少するが、3.75V付近で再びカソード電流が増加し、4.00Vと4.15Vに2つのピークを持つ。これに続く放電過程では、4.15V付近でアノード電流が流れ始め、3.95Vと3.80V付近で2つのピークを持った(4V反応)。アノード電流は2.80V付近で再びアノード電流が流れ出し、2.6Vにピークを持つ。2.30V付近でアノード電流はいったん減少するが、2.6~3.2Vの範囲にある一対のカソード-アノード電流ピークがある(3V反応)。3V反応と4V反応の各充電プロセスはそれぞれ15分程度で完了した。各反応における推定容量はほぼ800pCである。平均充電速度(C)はおよそ4Cに相当するが、電流ピーク時(I=2pA)の瞬間充電速度は9Cであった。

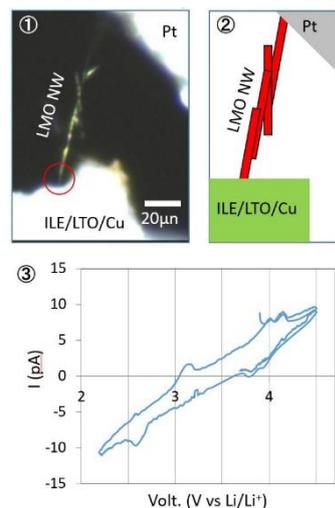
充放電過程では、LMO正極の局所的な歪み変化をABF-STEMモードによる回転モアレ縞の観察によってモニターした。観察は、LMOとILEの界面近傍(界面から1.3μm離れている)で、[110]方向から行った。図(7)に示すように、モアレ縞はSTEMの走査ラスタ(1画素=0.476×0.476nm<sup>2</sup>)と4~7度(充放電時のLMOナノワイヤの回転は3度以内)の回転したLMO(111)格子縞(d=0.476nm)の干渉でできる。以下、このモアレ縞画像を走査モアレ縞(SMF)と呼ぶ。図(7)②は、各成分の逆ベクトル、走査ラスタ(g<sub>scan</sub>)、LMO(111)面の格子縞(g<sub>111</sub>)、SMF(g<sub>SMF</sub>)の関係を示している。g<sub>scan</sub>が固定されているた



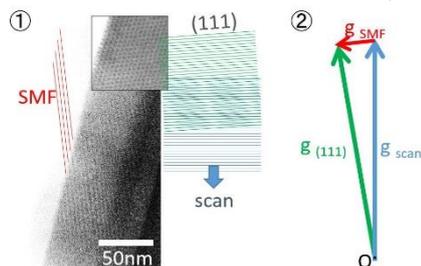
図(4) STEM モアレフリッジの説明



図(5) モアレフリッジの観察例と格子の空間的变化を示すグラフ[2]



図(6) LMO ナノワイヤ電池の光顕像、模式図、CV



図(7) 観測したモアレフジンジの解析

め、LMO(111)面の格子間隔 ( $g_{111}$ ) の変化は、 $g_{SMF}$  の変化として反映される。

CV のカソード電流、アノード電流が流れていない区間では、SMF に変化は見られなかった。しかし、電流のピーク付近で、図(7)①に示すように、SMF はS字に曲がることを見出した。S字型のSMFには不連続性がないのが特徴である。図(7)①の赤い点線に沿って、同じモアレ縞が繰り返されている。図(7)②の逆格子の関係から、S字型SMFは、ナノワイヤー軸に沿って(111)面の間隔が局所的に伸縮していることを示している。

このS字型SMFは、1フレーム(5秒/1フレーム)だけ瞬時に現れ、次のフレームでは消えている。このようなS字型SMFパターン(膨張収縮バンド)は、さらに充放電を繰り返すと再び現れる。図(8)に、観測されたすべての膨張収縮バンドを示す。膨張収縮バンドは、3V反応でも4V反応でも出現した。このバンドは、電流がピークに達した後に必ず現れる。興味深いことに、膨張収縮バンドは電流ピークの数と一致しなかった。3.15Vのカソード電流ピークでは3回検出されたが、4.0~4.15V範囲のダブルカソード電流ピークでは1回のみであった(図(8)②の4C1および4C2は異なるサイクルで取得。4C1は第1充電、4C2は第2充電である)。また、このS字型SMFパターンの前後で、SMFは同じ傾きを持っていることから、このパターンは、リチウム濃度が異なる2層の境界に対応していないと考えられる。

図(9)は、図(8)①に示した膨張収縮バンドを模式的に示している。図(9)②は、ナノワイヤー軸に沿って測定したひずみ分布である。主な膨張した領域と収縮した領域が一對となって、ワイヤに沿って動いていることが、その実験結果でわかった。Vegardの法則に基づき、膨張収縮バンドは高速充電プロセスにおいて単一相で移動するLi過剰バンドとLi欠乏バンドであると考えられる。

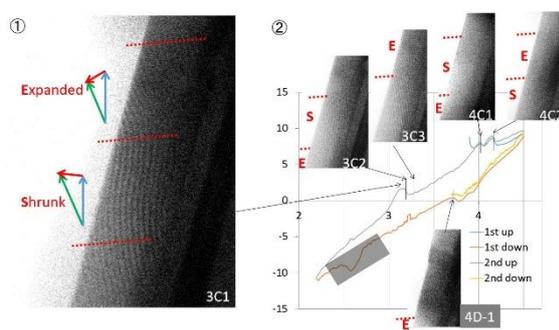
この膨張収縮バンドの出現タイミングとCV曲線の電流ピークの間に関係があることから、膨張収縮バンドはリチウムの輸送を反映していると考えられる。また、膨張収縮バンド出現の前後で格子間隔に大きな変化がないことから、固溶体反応下での現象であることがわかった。リチウム組成の増加により固溶体反応に伴う格子定数の増加が起こることから、観測された膨張収縮バンドは固溶体の単一相におけるリチウム過剰領域とリチウム不足領域の対に対応すると示唆される。

膨張収縮バンドの多くは、1フレームという

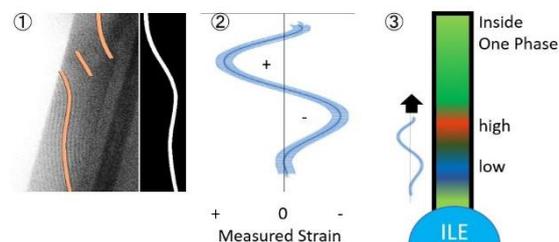
非常に短い時間で出現する。図S3の“3C3”では、2つのフレームがそれぞれバンドの半分ともう半分を撮影しているのが特徴的である。これは、膨張収縮バンドがナノワイヤーの軸に沿って移動することを示す。このような伸縮帯の移動は、走査ラスタと伸縮帯の移動の相対速度差により、測定されたひずみ振幅を増大させることが予想される。

興味深いのは、膨張収縮バンドは孤立してナノワイヤーに沿って動いていることである。これは、ソリトン波と似たような性質である。ソリトン波は、重要なエネルギー変化のもとで立ち上がり、物質輸送をもたらすことが知られている。膨張収縮バンドは波状に振動しており、ソリトンのように離散的に観察できる。固溶体中のリチウムの輸送がすべて膨張収縮バンドによって行われているとは考えられないが、ある量のリチウムイオンは、ソリトン波のように伝導しているかもしれない。

本研究では、ABF-STEMのSMFイメージングにより、高速充放電中のLMOナノワイヤーにおける膨張収縮バンドの動きを検出した。このバンドは、同時に測定したサイクリックボルタンメトリー(CV)の電流ピーク後にのみ観測され、リチウムの輸送と強い相関があることが示された。膨張収縮バンド出現の前後で格子間隔が変化していないことから、Vegardの法則に基づき、膨張収縮バンドは高速充電プロセスにおいて単一相で移動するLi過剰バンドとLi欠乏バンドであると考えられる。この高速充電時のリチウム輸送挙動は、よく知られた平衡状態での拡散制限されたリチウム輸送と異なる。



図(8) 電流ピーク後に現れる観測したモアレフジンジ



図(9) リチウムイオン濃度変調による膨張収縮バンドのモデル

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件／うち国際共著 3件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ishizuka Keisuke, Tomitori Masahiko, Arai Toyoko, Oshima Yoshifumi	4. 巻 13
2. 論文標題 Mechanical analysis of gold nanocontacts during stretching using an in-situ transmission electron microscope equipped with a force sensor	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 025001 ~ 025001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ab6936	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 Zhang Jiaqi, Ishizuka Keisuke, Tomitori Masahiko, Arai Toyoko, Oshima Yoshifumi	4. 巻 31
2. 論文標題 Atomic scale mechanics explored by in situ transmission electron microscopy with a quartz length-extension resonator as a force sensor	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 205706 ~ 205706
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6528/ab71b9	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 Liu Chunmeng, Zhang Jiaqi, Muruganathan Manoharan, Mizuta Hiroshi, Oshima Yoshifumi, Zhang Xiaobin	4. 巻 165
2. 論文標題 Origin of nonlinear current-voltage curves for suspended zigzag edge graphene nanoribbons	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 476 ~ 483
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2020.05.010	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 Chiew Yi Ling, Miyata Masanobu, Koyano Mikio, Oshima Yoshifumi	4. 巻 89
2. 論文標題 Ordering of Intercalated Fe Atoms in FexTiS2 Structures Clarified Using Transmission Electron Microscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 074601 ~ 074601
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.074601	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 Yao Yu, Izumi Reiko, Tsuda Tetsuya, Aso Kohei, Oshima Yoshifumi, Kuwabata Susumu	4. 巻 5
2. 論文標題 One-Pot Synthesis of PtNi Alloy Nanoparticle-Supported Multiwalled Carbon Nanotubes in an Ionic Liquid Using a Staircase Heating Process	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 25687 ~ 25694
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.0c02951	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 Liu Chunmeng, Zhang Jiaqi, Zhang Xiaobin, Muruganathan Manoharan, Mizuta Hiroshi, Oshima Yoshifumi	4. 巻 32
2. 論文標題 In-situ electrical conductance measurement of suspended ultra-narrow graphene nanoribbons observed via transmission electron microscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 025710 ~ 025710
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6528/abbca7	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 Ishizuka Keisuke, Tomitori Masahiko, Arai Toyoko, Oshima Yoshifumi	4. 巻 13
2. 論文標題 Mechanical analysis of gold nanocontacts during stretching using an in-situ transmission electron microscope equipped with a force sensor	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 025001 ~ 025001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ab6936	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 該当する

1. 著者名 Zhang Jiaqi, Ishizuka Keisuke, Tomitori Masahiko, Arai Toyoko, Oshima Yoshifumi	4. 巻 31
2. 論文標題 Atomic scale mechanics explored by in situ transmission electron microscopy with a quartz length-extension resonator as a force sensor	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 205706 ~ 205706
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6528/ab71b9	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 該当する

1. 著者名 Chen Tongmin, Akabori Masashi, Oshima Yoshifumi	4. 巻 12
2. 論文標題 Strain mapping at the interface of InP/In <sub>x</sub> Ga <sub>1-x</sub> As/InP as measured by the scanning transmission electron microscope-moiré fringe method	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 105504 ~ 105504
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786/ab4604	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 該当する

[学会発表] 計23件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Jiaqi Zhang, Keisuke Ishizuka, Masahiko Tomitori, Toyoko Arai, Yoshifumi Oshima
2. 発表標題 Mechanical properties of atomic bonds in Pt atomic chains measured by TEM coupled with a quartz LER
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Chunmeng LIU, Xiaobin Zhang, Jiaqi Zhang, Muruganathan Manoharan, Hiroshi Mizuta, Yoshifumi Oshima
2. 発表標題 In-situ current annealing of suspended graphene nanoribbon devices
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 麻生 浩平、小林 浩和、山内 美穂、松村 晶、大島 義文
2. 発表標題 Pt <sub>4</sub> Coナノ粒子の秩序構造形成における局所組成と加熱温度の影響
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 河村 惟友、麻生 浩平、東嶺 孝一、大島 義文
2. 発表標題 透過型電子顕微鏡を用いたメタチタン酸の構造解析
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Gada HE、Yoshifumi Oshima、Masahiko Tomitori
2. 発表標題 In-situ observation of electro-deposition and stripping of lead using a high-resolution scanning electron microscope with an electrochemical cell
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yi Ling CHIEW、宮田 全展、小矢野 幹夫、大島 義文
2. 発表標題 Fex TiS <sub>2</sub> 層状結晶における鉄原子の秩序とその磁性の観察
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福本 航大、Chunmeng LIU、新田 寛和、Fleurence Antoine、高村(山田)由起子、大島 義文
2. 発表標題 多層GaSeの電気伝導における電子線照射効果のその場TEM観察
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Lilin XIE、Yoshifumi OSHIMA
2. 発表標題 Identification of atom-scaled rippled structure of MoS2 film from HRTEM image
3. 学会等名 2020年日本表面真空学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yi Ling CHIEW、宮田 全展、小矢野 幹夫、大島 義文
2. 発表標題 Concentration dependence of intercalated Fe ordering in FexTiS2 layered structures
3. 学会等名 2020年日本表面真空学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Chunmeng LIU, Xiaobin Zhang, Jiaqi Zhang, Muruganathan Manoharan, Hiroshi Mizuta, Yoshifumi Oshima
2. 発表標題 Electrical conductance of very narrow graphene nanoribbon with zigzag edge
3. 学会等名 2020年日本表面真空学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Chunmeng LIU, Xiaobin Zhang, Jiaqi Zhang, Muruganathan Manoharan, Hiroshi Mizuta, Yoshifumi Oshima
2. 発表標題 Structure Dependent Electrical Properties of Suspended Graphene Nanoribbon
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Lilin XIE、Yoshifumi OSHIMA
2. 発表標題 Identify the rippled structure of MoS2 film from HRTEM image
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Jiaqi Zhang, Keisuke Ishizuka, Masahiko Tomitori, Toyoko Arai, Yoshifumi Oshima
2. 発表標題 Atomic scale mechanics measured by TEM holder combined with a frequency-modulation force sensor
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 麻生 浩平、Jens Maebe、Xuan Quy Tran、山本 知一、大島 義文、松村 晶
2. 発表標題 ナノ粒子形状に由来する局所ひずみのサブピコメートル解析
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石塚 慧介、富取 正彦、新井 豊子、大島 義文
2. 発表標題 水晶振動子力学センサーを組み込んだTEMホルダーによる金ナノ接点のヤング率計測
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 Jiaqi Zhang, Keisuke Ishizuka, Masahiko Tomitori, Toyoko Arai, Yoshifumi Oshima
2. 発表標題 Development of transmission electron microscopy holder with a quartz force sensor
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 Yi Ling CHIEW、宮田 全展、小矢野 幹夫、大島 義文
2. 発表標題 Clarification of Fe ordering in FeTiS <sub>2</sub> structure using transmission electron microscopy
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 Chunmeng LIU, Xiaobin Zhang, Jiaqi Zhang, Muruganathan Manoharan, Hiroshi Mizuta, Yoshifumi Oshima
2. 発表標題 Structure dependent electrical properties of suspended graphene nanoribbon in a transmission electron microscope
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 T. Chen, Y. Oshima, M. Akabori
2. 発表標題 Measurement of InP/InGaAs Interfacial Strain Distribution by STEM Moire Fringe Method
3. 学会等名 10th International Conference on Materials for Advanced Technologies (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J. Zhang, Y. Kobori, K. Ishizuka, M. Tomitori, T. Arai, Y. Oshima
2. 発表標題 Mechanical Properties of Pt Nano-contacts Measured by TEM Combined with a Frequency-Modulation Force Sensor
3. 学会等名 10th International Conference on Materials for Advanced Technologies (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 陳 桐民、赤堀 誠志、大島 義文
2. 発表標題 STEM Moire法によるInP/InGaAs/InP構造の歪みと組成分布の評価
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J. Zhang, Y. Kobori, K. Ishizuka, M. Tomitori, T. Arai, Y. Oshima
2. 発表標題 Mechanical properties of Pt atomic chain measured by TEM combined with a frequency-modulation force sensing system
3. 学会等名 2019 日本表面真空学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 陳 桐民、米澤 隆宏、村上 達也、東嶺 孝一、アントニー フローランス、大島 義文、高村(山田) 由起子
2. 発表標題 Ge(111)基板上にMBE成長したGaSe薄膜平面STM・STEM観察
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
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
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------