

令和 3 年 5 月 24 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01871

研究課題名(和文) 10nm空間制御による強相関金属酸化物ナノ相分離起源解明への実験的アプローチ

研究課題名(英文) Experimental approach on the 10 nm nano-confined structure to investigate the origin of the nanophase separation in the strongly metal oxides

研究代表者

服部 梓 (Hattori, Azusa)

大阪大学・産業科学研究所・准教授

研究者番号：80464238

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：独自のナノ構造化技術を駆使し、ナノ立体空間中に強相関酸化物材料(NdNiO₃、VO₂、Fe₃O₄)の電子相関効果の最小単位、ナノ電子相を閉じ込め、ナノ電子相の金属絶縁体相転移(MIT)を制御・拡張する方法論を確立した。ナノ細線試料は薄膜試料に見られる緩やかな抵抗変調とは異なり、ステップ状の急峻な抵抗変調が観察された。これは、単一電子相をナノ構造内に閉じ込めたことによって機能最小単位1個からの純粋な絶縁体-金属相転移特性が抽出できる、電子相閉じ込め効果を実証する結果で、ナノ相分離現象を記述する統計的MITモデルを構築し、電気伝導特性とナノ電子相との定量的相関関係を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、学術的には凝縮系物性学の一大問題である強相関電子系の相転移の本質の理解が導かれ、相転移のダイナミクスを明らかにすることができた。さらに、機能の宝庫と言われ、最新のIRDSロードマップでもbeyond CMOS候補材料として挙げられている強相関金属酸化物のナノ電子相(物性)の操作法を導く。ムーアの限界以下でも強相関物性に基づくデバイス動作が期待されつつも物性が複雑であるため難航している強相関酸化物ナノエレクトロニクス展開にも指針を与える結果が得られた。

研究成果の概要(英文)：To understand the exotic properties of the nanoscale electronic domain, we studied the MIT properties for the electronic domains of the strongly correlated metal oxides confined into a 10-100 nm length scale. The confined domains exhibited an intrinsic first-order MIT with an unusually steep single-step change in the temperature dependent resistivity curve. The transition dynamics: the competition between the phase-transition kinetics and experimental temperature-sweep-rate in a nano scale is revealed. I proposed a statistical transition model to describe the correlation between the domain behavior and the observable R-T curve, which connect the progression of the MIT from the macroscopic to microscopic viewpoints.

研究分野：3次元ナノ構造科学

キーワード：強相関金属酸化物 ナノ相分離現象

1. 研究開始当初の背景

強相関酸化物は電子間の相互作用が強い強相関電子系物質群であり、例えば、バナジウム、ニッケル、マンガンの酸化物でみられる金属-絶縁体相転移では、僅かな摂動(温度、磁場、キャリア濃度)で絶縁体状態は雪崩的に融解し、金属相、強磁性、高温超伝導へ相転移する。相転移に伴う抵抗や磁化の変化は劇的で 10^3 - 10^5 にも及ぶ。電子相関効果により通常の金属や絶縁体物質とは異なり電子の性質特性は物質中で均一に分布せず、集合・相分離してナノメートルサイズのドメインとして存在する: ナノ相分離現象が発現する。ナノ相分離現象の起源についての理論的な議論はされているが、ナノ電子相物性研究の実験はほとんど進んでいなかった。これは、当該分野の研究が数百 nm サイズの薄膜研究が中心でナノ構造形成技術が未発達であったためである。

2. 研究の目的

本研究では、独自の遷移金属酸化物ナノ構造創製技術で、物性発現の最小単位を抽出し、ピュアな電子集団の挙動に迫る強相関電子系物質による最大の特徴である「ナノ相分離現象の起源」に関わる以下の問題

- ・ナノ電子相ドメイン(強相関電子の集団)発生の最小サイズ
- ・ナノ電子相の相転移ダイナミクス(電子相発生・成長過程)

に実験的にアプローチする(図 1)。相分離の起源は、周期な格子のゆがみからくる電荷密度波の局在化であると考えられる。単一ナノ電子相の特性はその場での電荷密度を投影しているので、10 nm 四方以下のナノ空間を創り出すことで、構造電荷と相転移ダイナミクスを単離評価し、純粋な関係を明らかにすることを目的とし、研究を行った。

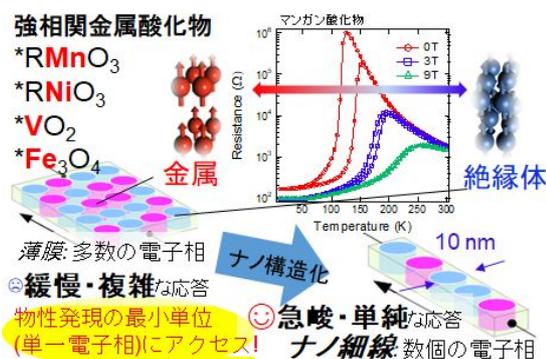


図 1 強相関酸化物ナノ相分離現象の概要。

3. 研究の方法

独自に開発した 3 次元名のテンプレート PLD 法、ナノ微細加工技術を駆使して、相転移を示す強相関金属酸化物である、(La,Pr,Ca)MnO₃ (LPCMO)、VO₂、ReNiO₃(Re=Nd, Sm)、Fe₃O₄ を対象として、ナノ電子相サイズ以下の数十-100 nm サイズのナノ構造体の創製を行ない、物性・デバイス評価を行った。

4. 研究成果

(1) (La, Pr, Ca)MnO₃ ナノ細線電界効果トランジスタ[1]

電界による単一電子相の絶縁体-金属転移制御を目的として、50-100 nm 線幅の LPCMO ナノウォール細線をチャンネル、イオン液体とゲート絶縁体としたナノ細線電界効果トランジスタを作製に取り組んだ。イオン液体ゲートは巨大な電界を印加できるとともに、三次元的ナノ構造に対しコンフォーマルにゲートを作製できる点で有効である。独自のナノ細線創製技術により、線幅 80 nm の LPCMO ナノウォール細線をチャンネルに持つトランジスタ構造を創製した(図 2(a))。ナノ細線トランジスタのゲート電圧印加時のチャンネルの抵抗の温度依存性 (R-T) を図 2(c)に示す。-2 V 印加により転移温度の高温シフト、抵抗変化率の減少が観測され、LPCMO 薄膜トランジスタと同様の電界効果を示した。これらの観測結果は、キャリアがホールである LPCMO のホール濃度増加に起因している。マンガン酸化物系のトランジスタでは最小となる 80 nm 細線で電界効果による最大抵抗比 13 倍の変化の観測に成功した。また、電子相サイズが低下し、試料中の電子総数が増加すると、MIT の急峻性 t p 電界応答性が低下するという相関関係が明らかになった。

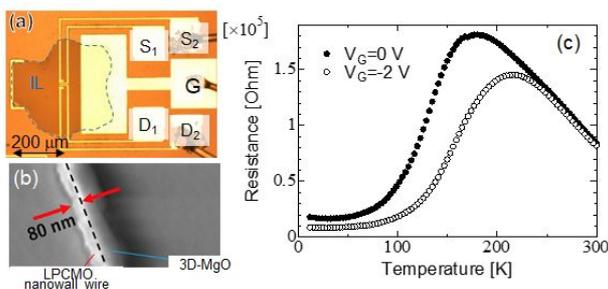


図 2 (a)LPCMO ナノ細線トランジスタと(b)チャンネル部分の細線構造。(c)電界印加時の R-T 曲線。

(2) ReNiO₃ (Re=Nd, Sm) ナノ細線でのナノ構造増感効果の観察とひずみ効果[2]

ごく最近ニッケル酸化物においても MIT 過程において相分離現象があると数件の報告がされた。しかしその電子相の物性は明らかになっていない。線幅 100 nm の単一 NdNiO₃ ナノ細線の

伝導特性を行ったところ、図3のように階段状の抵抗変化が観察された。階段状の抵抗変化は細線中にナノ電子相が閉じ込められていること、すなわち電子相の閉じ込め効果に由来する。これは、ニッケル酸化物単一ナノ細線で初めてとなるマルチステップな抵抗変化、すなわちナノ構造増感効果を観測したものである。

SrTiO₃ 基板上で作製した NdNiO₃ ナノ細線試料、NdNiO₃ 薄膜の R-T 曲線を図3に示す。どちらの試料でも 100 K 付近で MIT に伴う抵抗変化が観察されたが、その挙動に明らかな違いが見られた。薄膜試料では MIT に伴うなだらかな抵抗変化が観察されたのに対し、ナノ細線試料では複数のステップ状の抵抗変化が観察された(図3 挿入図)。薄膜試料では個々の電子相の転移に伴う抵抗変化がランダムかつ同時に進行するため、相転移の情報が平均化されるため、なだらかな抵抗変化が観察されたのに対し、ナノ細線試料では試料内に電子相が閉じ込められたために個々の電子相の一次相転移が顕在化した結果、急峻な抵抗変化が観察された。本結果は、NdNiO₃ ナノ細線で電子相閉じ込め効果を電気伝導特性で観測した初めての例である。

一方 NdGaO₃ と LSAT 基板上に作製した線幅 100 nm の NdNiO₃ ナノ細線の R-T 曲線では、両者とも 120 K 付近で MIT に伴う抵抗変化を示すとともに、電子相閉じ込め効果に由来する大きなステップ抵抗変化が見られた一方で、細線内の電子相毎の転移温度の分布を表す微分曲線(dR/dT vs. T)は異なる傾向を示した。これらの結果を、シミュレーション解析を用いて系統的に比較・評価した結果、NdGaO₃ が基板から受ける歪みが大きくなるほど単一ナノ電子相のサイズ、抵抗変化比は小さく、転移温度の分布は広くなる、という NdGaO₃ ナノ細線における電気伝導特性とナノ電子相との相関関係を定量的に明らかにした。

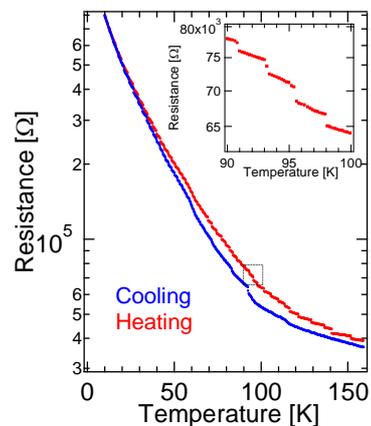


図3 NdNiO₃ 薄膜/SrTiO₃ 基板の R-T 曲線及び単一細線からの R-T 曲線(挿入図)。

(3) 10 nm サイズ Fe₃O₄ ナノ試料で発現するフェルバー転位[3]

Fe₃O₄ は金属-絶縁体転移によりその電気伝導度が 100 倍以上変わることなどから、80 年以上に渡り精力的に基礎学術研究が行われてきた。しかし、これまではナノ構造化(サイズ減少)により転移の消失や、抵抗変化率の低下が報告されており、ナノ構造体での優れた転移特性の観察は難しいと考えられていた。その理由として、マグネタイトで特徴的にみられるアンチフェイズバウンダリーなどの欠陥が挙げられる。欠陥の多くはサブ-数ナノメートルサイズであるため、ナノ構造体ではサイズの大きい薄膜試料などに比べて欠陥の影響を大きく受け、転移特性など物性が低下していた。単結晶化した 3 次元ナノテンプレート基板の側面を起点とし、nm 精度でサイズを制御したナノ構造作製手法(3 次元ナノテンプレート PLD 法)を開発し、高品質なナノ構造体を実現した。この手法によりマグネタイトで欠陥が少なく、優れた転移特性を示すナノ構造体を実現した。作製したナノ構造体にも欠陥は存在するが、欠陥の少ない領域を選び出すことで、薄膜試料よりも 5 倍以上変化率が上昇することを発見した(図4)。これはマグネタイトの本来持っている特性が、欠陥(主にアンチフェイズバウンダリー)の影響を受けずに抽出できたため、高品質なマグネタイトのナノ構造体の実現により、マグネタイトの相転移の起源といわれている準粒子トライメロンのサイズなどの正確な見積もりを可能としました。トライメロンの生成・消滅はマグネタイトの相転移と直結しているため、そのダイナミクスの理解が必須である。

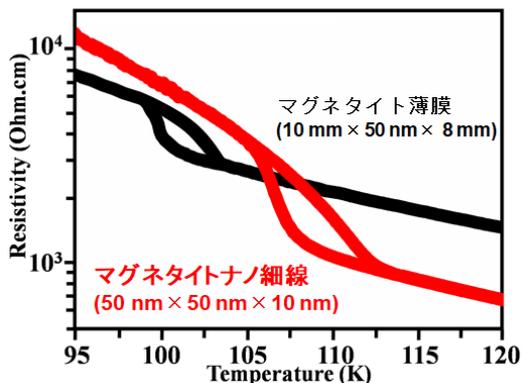


図4 ナノ細線試料での優れた転移特性。同じ作製条件の薄膜試料より5倍以上の変化率を示すナノ構造体の作製を実現。

ある。これまで主流であった薄膜などの大きなサイズの試料では、非常に小さいトライメロンの情報は平均化されて埋没していたが、実現した高品質なナノ構造体での研究により新たな情報が得られフェルバー転移の機構の理解を可能となる礎を築いた。

(4) VO₂ 立体ナノ構造体での単一電子相の一次相転移の抽出とナノ電子相転移特性の解明[4]

図5にVO₂の細線構造(線幅: 600 nm、電極間距離: 20 nm)の走査型電子顕微鏡(Scanning electron microscope, SEM)観察像と、単一細線からの抵抗の R-T 曲線を示す。単一ナノ電子相の、昇温過程での 52°C(降温過程での 49°C)でステップ変化: すなわち絶縁体→金属(金属→絶縁体)の

一次相転移がはっきりと観察された。従来法では不可能な数十 nm サイズの極微ナノ細線構造において、物性の起源であるナノ電子相転移特性の直接評価と、電子相数制御による応答性の急峻化を実現した^[1]。本質的不均一の起源、すなわち電子相での転移

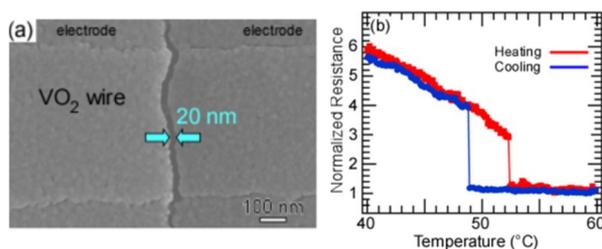


図 5 (a) VO₂ 細線構造(線幅: 600 nm、電極間距離: 20 nm)の SEM 観察像。(b)単一細線からの抵抗

点の分布の起源は、試料の不完全性(欠陥、化学組成分布など)によるものであると数多くの文献で既に報告されている。図 5 の成果は、完全に欠陥フリーな(ナノ構造)試料が実現すれば、純粋な MIT が観察できるのだろうか?という問いに答える結果である。

ナノ電子相 1 個の理想的な一次相転移特性を基に、統計的 MIT モデルを構築した(図 6)。1D 細線、2D 薄膜共に統計的 MIT モデルを用いて定量的な物性変化の挙動記述に成功しており、複雑と言われて来た強相関金属垢物のナノ相分離現象、別名、本質的不均一の本質をとらえることに成功した。このモデルでは、磁場、温度による絶縁体↔金属の転移挙動を定量的に示すことに成功している。本質的不均一の起源、すなわち電子相での転移点の分布の起源は、試料の不完全性(欠陥、化学組成分布など)によるものであると数多くの文献で報告されている。対象とする材料の組成、エピタキシャル成長の場合は基板材料との格子不整合によって試料には不可避な欠陥が混入する。図 5 の結果が実証する完全に欠陥フリーな(ナノ構造)試料が実現すれば、純粋な MIT が観察できる、及び、マクロサイズ試料での転移点分布の定量的評価から相分離の起源が明らかになってきた。

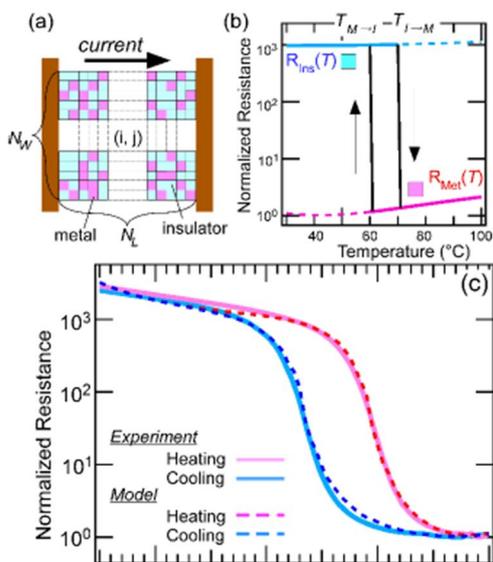


図 6 (a) VO₂ 薄膜の電子相分布イメージ図及び、(b)単一電子相での理想的な R-T 曲線。ドメイン細線構造(線幅: 600 nm、電極間距離: 20 nm)の SEM 観察像。(b)単一細線からの抵抗の R-T 曲線。(c)VO₂ 薄膜で観察した R-T 曲線(実践)と統計モデルから算出した R-T 曲線(破線)。

強相関金属酸化物を対象としたほとんどの研究はマクロサイズの試料を対象としており、そのためナノ電子相(物性発現の最小単位)を考慮している例もあるが、直接的な制御できない状況であった。本研究では、その制約をナノ構造化試料で克服し、電子相転移の大きさ、即ち、ナノサイズのドメイン構造と同程度の試料サイズにすることで、その電子相転移そのものがどの用になるのかを実証し、ナノ相分離現象の定量的記述に成功した。MIT に伴う巨大相転移特性などの物性の起源を明らかにし、デバイスとしての制御技術に指針を与える結果が得られた。

成果

- [1] “Fabrication of the electric double layer transistor with (La,Pr,Ca)MnO₃ nanowall wire channel” A. N. Hattori, H. Nakazawa, T. Nakamura, H. Tanaka, Mod. Phys. Lett. B, 32 (2018) 1840058-1-7.
- [2] “Effects of Off-Stoichiometry in the Epitaxial NdNiO₃ Film on the Suppression of Its Metal-Insulator-Transition Properties” T. Yamanaka, A. N. Hattori, L. N. Pamas, S. Takemoto, K. Hattori, H. Daimon, K. Sato, H. Tanaka, ACS Appl. Electron. Mater., 1 (2019), 2678-2683.
- [3] “Three-dimensional Nanoconfinement Supports Verwey Transition in Fe₃O₄ Nanowire at 10 nm length scale” R. Rakshit, A. N. Hattori, Y. Naitoh, H. Shima, H. Akinaga, H. Tanaka, Nano Lett., 19, (2019) 5003-5010.
- [4] “Investigation of Statistical Metal-Insulator Transition Properties of Electronic Domains in Spatially Confined VO₂ Nanostructure” A. N. Hattori, A. I. Osaka, K. Hattori, Y. Naitoh, H. Shima, H. Akinaga, H. Tanaka, Crystals (2020) 10, 631-1-14

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 17件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yamanaka Takashi, Hattori Azusa N., Pamasi Lilianny Noviyanty, Takemoto Shohei, Hattori Ken, Daimon Hiroshi, Sato Kazunori, Tanaka Hidekazu	4. 巻 1
2. 論文標題 Effects of Off-Stoichiometry in the Epitaxial NdNiO ₃ Film on the Suppression of Its Metal-Insulator-Transition Properties	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Applied Electronic Materials	6. 最初と最後の頁 2678 ~ 2683
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.9b00662	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 Yamamoto Mahito, Nouchi Ryo, Kanki Teruo, Nakaharai Shu, Hattori Azusa N., Watanabe Kenji, Taniguchi Takashi, Wakayama Yutaka, Ueno Keiji, Tanaka Hidekazu	4. 巻 11
2. 論文標題 Barrier Formation at the Contacts of Vanadium Dioxide and Transition-Metal Dichalcogenides	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 36871 ~ 36879
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acсами.9b13763	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 Tachizaki Takehiro, Hattori Azusa N., Tanaka Hidekazu, Hirori Hideki	4. 巻 58
2. 論文標題 Ultrafast reflectivity change of vanadium dioxide induced by THz field enhanced by a metallic structure	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 083002 ~ 083002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab2e97	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 Rakshit Rupali, Hattori Azusa N., Naitoh Yasuhisa, Shima Hisashi, Akinaga Hiroyuki, Tanaka Hidekazu	4. 巻 19
2. 論文標題 Three-Dimensional Nanoconfinement Supports Verwey Transition in Fe ₃ O ₄ Nanowire at 10 nm Length Scale	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 5003 ~ 5010
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.9b01222	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 Takemoto Shohei, Hattori Ken, Someta Masaaki, Hattori Azusa N., Tanaka Hidekazu, Kurushima Kosuke, Otsuka Yuji, Daimon Hiroshi	4. 巻 52
2. 論文標題 Shape-fitting analyses of two-dimensional X-ray diffraction spots for strain-distribution evaluation in a α -FeSi ₂ nanofilm	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Applied Crystallography	6. 最初と最後の頁 732 ~ 744
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1107/S1600576719007234	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 -

1. 著者名 HATTORI Azusa N., TAKEMOTO Shohei, YANG Haoyu, HATTORI Ken, DAIMON Hiroshi, TANAKA Hidekazu	4. 巻 62
2. 論文標題 Development of Methods of Creating and Observing Atomically-ordered Side-surfaces on Three-dimensionally Architected Si Substrates	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Vacuum and Surface Science	6. 最初と最後の頁 427 ~ 432
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1380/vss.62.427	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. Yamamoto, R. Nouchi, T. Kanki, A. N. Hattori, K. Watanabe, T. Taniguchi, K. Ueno, H. Tanaka	4. 巻 11
2. 論文標題 Gate-Tunable Thermal Metal-Insulator Transition in VO ₂ Monolithically Integrated into a WSe ₂ Field-Effect Transistor	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Appl. Mater. Interfaces	6. 最初と最後の頁 3224-323-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.8b18745	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 H. Maruoka, Y. Oe, H. Takashima, A. N. Hattori, H. Tanaka, S. Takeuchi	4. 巻 27
2. 論文標題 Non-contact detection of nanoscale structures using optical nanofiber	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Opt. Express	6. 最初と最後の頁 367-376
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.27.000367	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 D. Kawamoto, A. N. Hattori, M. Yamamoto, X. Tan, K. Hattori, H. Daimon, H. Tanaka	4. 巻 1
2. 論文標題 Correlation between Ni valence and resistance modulation on SmNiO ₃ chemical transistor	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Appl. Electr. Mat.	6. 最初と最後の頁 82-87
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.8b00028	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. N. Hattori, H. Nakazawa, T. Nakamura, H. Tanaka	4. 巻 32
2. 論文標題 Fabrication of the electric double layer transistor with (La,Pr,Ca)MnO ₃ nanowall wire channel	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Mod. Phys. Lett. B	6. 最初と最後の頁 1840058-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0217984918400584	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 G. Tan, O. Nakagawara, A. N. Hattori, H. Tanaka	4. 巻 8
2. 論文標題 Arrangement of self-assembled ZnO-NiO nanostructures using topographical templates towards oxide directed self-assembly	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP Advances 8	6. 最初と最後の頁 115029-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5054862	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 Y. Sun, M. Kotiuga, D. Lim, B. Narayanan, M. Cherukara, Z. Zhang, Y. Dong, R. Kou, C. Sun, Q. Lu, I. Waluyo, A. Hunt, H. Tanaka, A. N. Hattori, S. Gamage, Y. Abbate, V. G. Pol, H. Zhou, S. Sankaranarayanan, B. Yildiz, K. M. Rabe, S. Ramanathan	4. 巻 115
2. 論文標題 Strongly correlated perovskite lithium-ion shuttles	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. Natl. Acad. Sci. USA	6. 最初と最後の頁 9672-9677
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.1805029115	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 S. Takemoto, A. N. Hattori, K. Hattori, H. Tanaka, H. Daimon	4. 巻 57
2. 論文標題 Electric transport properties for three-dimensional angular-interconnects of Au wires crossing facet edges of atomically-flat Si{111} surfaces	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 085503-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.090303	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 Nakatsuka Sohei, Imaizumi Taishi, Abukawa Tadashi, Hattori Azusa N., Tanaka Hidekazu, Hattori Ken	4. 巻 19
2. 論文標題 Spatial Analytical Surface Structure Mapping for Three-dimensional Micro-shaped Si by Micro-beam Reflection High-energy Electron Diffraction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 e-Journal of Surface Science and Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 13 ~ 19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1380/ejssnt.2021.13	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 Irmikimov Aydar, Pamasi Lilianny N., Hattori Azusa N., Higashi Takaaki, Takahashi Shunta, Hashamova Emilia E., Shi Xiaoqian, Guo Fangzhun, Hosoi Nobuyoshi, Osaka Ai I., Tanaka Hidekazu, Hattori Ken	4. 巻 21
2. 論文標題 Atomically Architected Silicon Pyramid Single-Crystalline Structure Supporting Epitaxial Material Growth and Characteristic Magnetism	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Crystal Growth & Design	6. 最初と最後の頁 946 ~ 953
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.cgd.0c01286	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 Sidik Umar, Hattori Azusa N., Rakshit Rupali, Ramanathan Shriram, Tanaka Hidekazu	4. 巻 12
2. 論文標題 Catalytic Hydrogen Doping of NdNiO ₃ Thin Films under Electric Fields	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 54955 ~ 54962
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.0c15724	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 Hattori Azusa N., Osaka Ai I., Hattori Ken, Naitoh Yasuhisa, Shima Hisashi, Akinaga Hiroyuki, Tanaka Hidekazu	4. 巻 10
2. 論文標題 Investigation of Statistical Metal-Insulator Transition Properties of Electronic Domains in Spatially Confined VO ₂ Nanostructure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 631 ~ 631
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst10080631	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 HATTORI Azusa N.	4. 巻 64
2. 論文標題 Nanofabrication and Physical Properties Investigation on the Three-dimensional Surfaces =Diversity and Inclusion in Surface Science=	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Vacuum and Surface Science	6. 最初と最後の頁 126 ~ 133
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1380/vss.64.126	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 -

〔学会発表〕 計35件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 18件)

1. 発表者名 服部 梓、大坂 藍、藤 大雪2、山内 和人、佐野 泰久、田中 秀和
2. 発表標題 完全結晶基板を利用した強相関電子系Fe ₃ O ₄ 極薄膜の 金属-絶縁体相転移特性の向上
3. 学会等名 第5回材料WEEK
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Azusa N. Hattori, Shohei Takemoto, Ken Hattori, Hiroshi Daimon, Hidekazu Tanaka
2. 発表標題 Creation of Atomically-Ordered Side- and Facet-Surfaces on the Three-Dimensionally Architected Si Structures
3. 学会等名 19th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Rupali Rakshit, Azusa N. Hattori, Masaya Nagai, Goro Isoyama, Hidekazu Tanaka
2. 発表標題 Verwey Transition Dynamics of Fe ₃ O ₄ Microwire Driven by Intense Terahertz Pulse
3. 学会等名 26TH INTERNATIONAL WORKSHOP ON OXIDE ELECTRONICS (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Azusa N. Hattori, Shohei Takemoto, Ken Hattori, Hiroshi Daimon, Hidekazu Tanaka
2. 発表標題 Creation of Atomically-Ordered Side- and Facet-Surfaces on the Three-Dimensionally Architected Si Structures
3. 学会等名 19th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ai Osaka, Daisetsu Toh, Kazuto Yamauchi, Yasuhisa Sano, Hidekazu Tanaka, Azusa N. Hattori
2. 発表標題 High quality Fe ₃ O ₄ thin film on atomically flat surface MgO substrate with high crystallinity
3. 学会等名 The 23rd SANKEN International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Azusa N. Hattori, Rupali Rakshit, Yasuhisa Naitoh, Hisashi Shima, Hiroyuki Akinaga, Hidekazu Tanaka
2. 発表標題 Verwey transition in three dimensional Fe ₃ O ₄ nanowire at 10 nm length scale
3. 学会等名 The 23rd SANKEN International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Azusa N. Hattori, Rupali Rakshit, Yasuhisa Naitoh, Hisashi Shima, Hiroyuki Akinaga, Hidekazu Tanaka
2. 発表標題 Verwey transition in three dimensional Fe ₃ O ₄ nanowire at 10 nm length scale
3. 学会等名 11th International Symposium on Transparent Oxide and Related Materials for Electronics and Optics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Azusa N. Hattori, Daiki Kawamoto, Mahito Yamamoto, Hidekazu Tanaka
2. 発表標題 Wide-range resistance modulation on a SmNiO ₃ chemical transistor
3. 学会等名 236th RCS Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 服部 梓、山中 天志、服部 賢、大門 寛、田中 秀和
2. 発表標題 NdNiO ₃ ナノ細線での電子相閉じ込め効果
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Rupali Rakshit、服部 梓、内藤 泰久、島 久、秋永 広幸、田中 秀和
2. 発表標題 10 nmサイズFe ₃ O ₄ 立体ナノ構造でのフェルペー転移
3. 学会等名 2019年第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 服部 梓、山中 天志、田中 秀和
2. 発表標題 NdNiO ₃ ナノ細線での電子相閉じ込め効果と金属-絶縁体相転移特性
3. 学会等名 第5回材料week
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 服部 梓、Aydar Irmikimov、東 嵩晃、高橋 駿太、郭 方准、服部 賢、田中 秀和
2. 発表標題 Si{111}ピラミッド構造表面の創製と評価
3. 学会等名 2020年第67回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 2020年精密工学会春季大会講演
2. 発表標題 原子層制御したSi立体表面の創製と計測評価法の開発
3. 学会等名 服部 梓、郭 方准、服部 賢、大門 寛、田中 秀和
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 A. N. Hattori and H. Tanaka
2. 発表標題 A discrete resistance change in the 3D nanostructured metal oxide due to the nano-confinement effect
3. 学会等名 NanoWorld Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A. N. Hattori, T. V. A. Ngyuen, M. Nagai, M. Ashida, H. Tanaka
2. 発表標題 Investigation of transport dynamics for the phase-separated nanodomains in strongly correlated manganite
3. 学会等名 International Nanophotonics and Nanoenergy Conference2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 服部梓、竹本昌平、服部賢、大門寛、田中秀和
2. 発表標題 原子レベル制御Si{111}ファセット端で 3次元立体接合した金の伝導特性評価
3. 学会等名 2018年 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 服部梓、竹本昌平、服部賢、大門寛、田中秀和
2. 発表標題 3次元立体接合した原子レベル制御 Si{111}ファセット端での金の伝導特性
3. 学会等名 第4回材料WEEK
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A. N. Hattori, S. Takemoto, K. Hattori, H. Daimon, H. Tanaka
2. 発表標題 Creation of atomically-ordered surfaces on the three-dimensionally architected Si structure
3. 学会等名 The 14th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A. N. Hattori and H. Tanaka
2. 発表標題 A discrete resistance change for the spatial nano-confined electric domain in the strongly correlated metal oxides
3. 学会等名 Nanotech-2018 (Nanotechnology and Material Science Congress) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 服部梓、林慶一郎、山中天志、川本大喜、田中秀和
2. 発表標題 強相関電子系NdNiO ₃ ナノ細線での金属絶縁体転移特性
3. 学会等名 2018年日本表面真空学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 服部梓、竹本昌平、服部賢、大門寛、田中秀和
2. 発表標題 3次元立体Si{111}7×7ファセット表面上での金の伝導特性
3. 学会等名 2018年日本表面真空学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A. N. Hattori, T. Yamanaka, K. Hayashi, S. Tsubota, Y. Naitoh, H. Akinaga, H. Tanaka
2. 発表標題 Metal-insulator transition properties in the strongly electron correlated metal oxide nanowire structures
3. 学会等名 The 8th Indo-Japan Seminar “Designing Emergent Materials”
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 服部 梓
2. 発表標題 ナノ立体造形技術を用いた強相関金属酸化物ナノ電子相物性研究
3. 学会等名 第90回(平成30年度第4回)産研テクノサロン(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Rakshit, A. N. Hattori, H. Tanaka
2. 発表標題 Purified Verwey Transition of Single Domain Fe ₃ O ₄ Nanowire
3. 学会等名 The 8th Indo-Japan Seminar “Designing Emergent Materials” (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Rakshit, A. N. Hattori, Y. Naitoh, H. Shima, H. Akinaga, H. Tanaka
2. 発表標題 Three-dimensional Nanoconfinement Supports Verwey Transition in Fe ₃ O ₄ Nanowire at 10 nm length scale
3. 学会等名 Handai-Kansai-GiessenDai Joint Seminar on Materials Science and Engineering (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹本昌平、楊昊宇、谷本慶、染田政明、服部賢、大門寛、服部梓、田中秀和
2. 発表標題 Si(001)基板上のb-FeSi ₂ (100)ナノカーペットのXRD解析による面内歪み分布評価
3. 学会等名 第4回材料WEEK
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中塚聡平、今泉太志、虻川匡司、服部梓、田中秀和
2. 発表標題 W-RHEED法によるマイクロパターンを施したSi表面の構造解析
3. 学会等名 2018年日本表面真空学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川本大喜、服部梓、山本真人、田中秀和
2. 発表標題 SmNiO ₃ -FETにおけるチャネルサイズ縮小による抵抗変調高効率化
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 D. Kawamoto, A. N. Hattori, M. Yamamoto, H. Tanaka
2. 発表標題 Correlation of Ni valence and resistance modulation on SmNiO ₃ chemical transistor
3. 学会等名 The 14th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Yamanaka, A. N. Hattori, H. Tanaka
2. 発表標題 Fabrication of NdNiO ₃ film with controlled Ni/Nd ratio by PLD technique
3. 学会等名 The 22nd SANKEN International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山中天志、服部梓、服部賢、大門寛、田中秀和
2. 発表標題 NdNiO ₃ ナノ細線の作製と電子相閉じ込め効果の観測
3. 学会等名 第66回応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. N. Hattori, R. Rakshit, Y. Naitoh, H. Shima, H. Akinaga, H. Tanaka
2. 発表標題 Prominent Verwey transition in three dimensional Fe ₃ O ₄ nanowire at 10 nm length scale
3. 学会等名 2020 Virtual MRS Spring/Fall Meeting & Exhibit (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 A. N. Hattori, T. Yamanaka, A. Nanba, H. Tanaka
2. 発表標題 Metal-insulator transition property for the nano-confined electric domain in the strongly correlated NdNiO ₃
3. 学会等名 2020 Virtual MRS Spring/Fall Meeting & Exhibit (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大坂 藍、服部 梓、田中 秀和、藤 大雪、山内 和人、佐野 泰久
2. 発表標題 完全結晶基板上に成長した Fe ₃ O ₄ 極薄膜金属-絶縁体相転移特性
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 A. N. Hattori
2. 発表標題 Investigation of metal-insulator transition properties for the phase-separated electronic domains in strongly correlated oxides
3. 学会等名 6th Conference of Bangladesh Crystallographic Association (招待講演) (国際学会)
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
研究分担者	山本 真人 (Yamamoto Mahito) (00748717)	関西大学・システム理工学部・准教授 (34416)	

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
---------	---------