

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 29 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25246023

研究課題名(和文) 酸化物半導体一次元電子ガスの電界誘起と超巨大熱電能変調

研究課題名(英文) Electric field accumulation and giant thermopower modulation of one dimensional electron gas in oxide semiconductors

研究代表者

太田 裕道 (Ohta, Hiromichi)

北海道大学・電子科学研究所・教授

研究者番号：80372530

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 36,500,000円

研究成果の概要(和文)：ナノ多孔性ガラス中のH<sup>+</sup>/OH<sup>-</sup>イオンと酸化物半導体の酸化・還元反応を利用したAFMリソグラフィーによる極細一次元電子ガス(1DEG)の電界誘起と超巨大熱電能の観測を目指した。形状的特徴から、SrTiO<sub>3</sub>-1DEGのAFMリソグラフィーに成功したが、誘起された1DEGの安定性が極めて低く、熱電能計測には至らなかった。安定に酸化・還元反応が起こる物質の探索を行った結果、絶縁体VO<sub>2</sub> 金属HxVO<sub>2</sub>、絶縁体SrCo<sub>0.5</sub>金属SrCoO<sub>3</sub>、絶縁体WO<sub>3</sub> 金属HWO<sub>3</sub>の可逆変化に成功し、論文・新聞・TV上で公表した。上記物質を用いてAFMリソグラフィーを行うことで1DEGが作製できると考えている。

研究成果の概要(英文)：In this study, I targeted electric field accumulation and observation of giant thermopower of one dimensional electron gas (1DEG) by AFM lithography technique utilizing an electrochemical redox reaction between H<sup>+</sup>/OH<sup>-</sup> ions in the nanoporous glass and oxide semiconductors. Although I succeeded AFM lithography of SrTiO<sub>3</sub>-1DEG since the resultant shape suggested 1DEG formation, the thermopower could not be measured due to the low stability of the resultant 1DEG. Therefore, I searched more appropriate materials, which show stable redox reaction. As a result, I observed several stable reversible redox reactions such as insulating VO<sub>2</sub> - metal HxVO<sub>2</sub>, insulating SrCo<sub>0.5</sub> - metal SrCoO<sub>3</sub>, and insulating WO<sub>3</sub> - metal HWO<sub>3</sub> by using H<sup>+</sup>/OH<sup>-</sup> ions in the nanoporous glass. These results appeared on Journal papers, newspapers, and TV. Unfortunately 1DEG has not been realized in this study duration, I think that 1DEG can be realized by AFM lithography of the above materials near future.

研究分野：材料科学

キーワード：含水ナノ多孔性ガラス 熱電能 一次元電子ガス AFMリソグラフィー 光・電気・磁気特性の可逆変調

### 1. 研究開始当初の背景

金属や半導体の熱電能(=Seebeck 係数、 $S$ )は、熱電変換材料の性能を決めるために必要であるとともに、試料の電子状態を反映する極めて有用な物理量である。 $S$ の物理的な意味は、「フェルミ準位における電子状態密度のエネルギー微分」であり、そのため $S$ は電子状態の変化に敏感で、例えば、半導体量子井戸やヘテロ接合界面のナノドットオーダーの極薄半導体層に蓄積される二次元電子ガス(2DEG)やナノドットオーダーの極細半導体細線に蓄積される一次元電子ガス(1DEG)などの低次元電子ガスの $S$ はバルクとは全く異なるキャリア濃度依存性を示す。

2DEGは、電界効果によって半導体中に蓄積することが可能である。例えば、直径約10 nmのナノ孔を体積分率40%含むナノ多孔性ガラスCANをゲート誘電体として用いて作製した電界効果トランジスタ構造でSrTiO<sub>3</sub>表面に厚さ約3 nmの極薄2DEG( $10^{15} \text{ cm}^{-2}$ )が電界誘起でき、その2DEGはバルクの5倍の巨大 $S$ を示す[H. Ohta et al., *Adv. Mater.* **24**, 740 (2012)]。

では、1DEGの $S$ はどのようになるだろうか？状態密度のエネルギー微分である $S$ は低次元化に伴って増大するので、1DEG化すれば2DEGを凌ぐ超巨大熱電能を示すと期待されるが、従来手法で合成される金属酸化物ナノワイヤーは極めて短く(1  $\mu\text{m}$ 以下)熱電能の計測はできない。

本研究では、上述の水を利用し、AFMリソグラフィー技術を組み合わせることで長い( $\sim 0.1 \text{ mm}$ )1DEGを作製すれば、1DEGの超巨大 $S$ を観測できるのではないかとこの着想に至った。

### 2. 研究の目的

本研究の最終的な目的は、AFMリソグラフィー技術を利用して、金属酸化物半導体上にナノドットオーダーの極細1DEGを電界誘起することで超巨大熱電能を観測することである。具体的には、金属酸化物半導体上に堆積させたナノ多孔性ガラス薄膜上で電界を

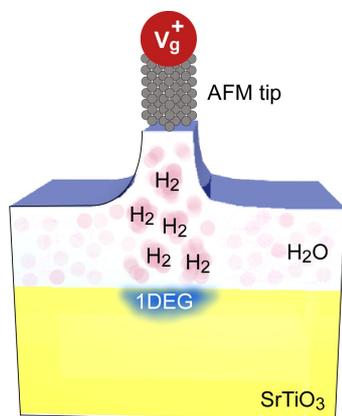


図1 ナノ多孔質ガラス中の水( $\text{H}^+/\text{OH}^-$ )を利用したAFMリソグラフィーによるSrTiO<sub>3</sub>単結晶表面への1DEG形成の予想図。

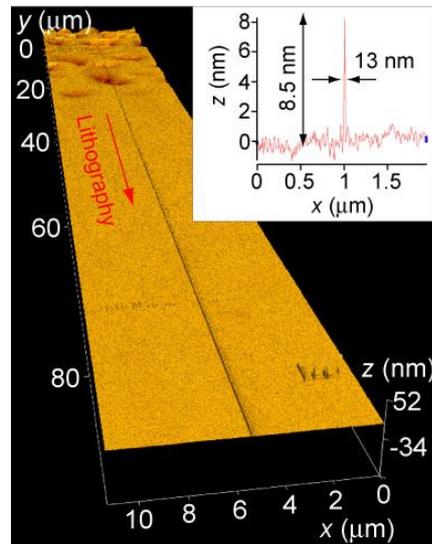


図2 CAN/SrTiO<sub>3</sub>上でAFMリソグラフィーを行った後のAFMトポ像。高さ8.5 nm、幅13 nmの隆起が走査した90  $\mu\text{m}$ の範囲で観察された。この隆起の下に埋もれた1DEGが誘起されたと思われるが、1DEGの安定性が良くないため、電気特性の計測には至らなかった。

印加した導電性AFMチップを走査し、ナノドットオーダーの極細1DEGを広範囲に誘起することで金属酸化物半導体1DEGの計測を行う。

### 3. 研究の方法

AFMリソグラフィー可能な走査型プローブ顕微鏡を選定するため、数社から市販されている装置のデモ実験を繰り返し行い、最もリソグラフィに適した走査型プローブ顕微鏡として、アサイラム製MFP 3DOriginを調達した。

CAN/SrTiO<sub>3</sub>上におけるAFMリソグラフィー条件の最適化を行い、1DEGの線幅を制御できるようにした。

SrTiO<sub>3</sub>上に誘起した1DEGは非常に安定性が低く、熱電能を計測する前に1DEGが消えてしまうことが判明したため、3年目、4年目には酸化・還元状態が安定な酸化物半導体の探索を行った

### 4. 研究成果

#### (1) SrTiO<sub>3</sub>結晶上への1DEG書き込み

H25年度は、4月の研究開始直後からAFMの機種選定を行い、デモ実験、ヒアリングを約5ヵ月間かけて行った。金属酸化物半導体SrTiO<sub>3</sub>上に堆積させた含水ナノ多孔性ガラスCAN薄膜上で電界を印加した導電性AFMチップを走査するデモ実験の結果、幅13 nm、高さ8.5 nm、長さ90  $\mu\text{m}$ のナノ細線の作製が可能であることが分かり、当初の計画通りH25第3四半期中に購入した。その後、第4四半期には新たに金属マスクパターンを設計・制作し、リソグラフィー条件の最適化を行った。一旦AFMリソグラフィー

から後退し、3端子型薄膜トランジスタ構造を用いて、電圧をオフにしても絶縁体/金属の状態が安定な酸化物半導体の探索を行った。

図2にCAN/SrTiO<sub>3</sub>結晶上でAFMリソグラフィを行った直後のAFMトポ像を示す。図1で予想したとおり、AFMチップを1次元走査することにより、高さ8.5 nm、幅13 nmの隆起が走査範囲である90 μmに渡って観察された。この隆起の下には1DEGが誘起されているはずだが、1DEGの安定性が悪く、残念ながら本研究では熱電能・導電率ともに計測することができなかった。

### (3) 含水ナノ多孔性ガラス中の水とVO<sub>2</sub>薄膜の酸化還元反応を利用した赤外線透過率制御デバイス

酸化・還元状態な安定な酸化物として、まずVO<sub>2</sub>を選択した。VO<sub>2</sub>は68で単斜晶正方晶の構造相転移を伴う金属絶縁体転移と同時に赤外線透過率のみが大幅に変化するサーモクロミック材料として知られている。不純物を全く含まないVO<sub>2</sub>は、室温では絶縁体であり、可視光・赤外線を透過するが、H<sup>+</sup>を拡散させてプロトン化することで金属化し、赤外線だけを遮断することが可能である。VO<sub>2</sub>のプロトン化・脱プロトン化を利用すれば可視光は透過したまま、赤外線だけを透過・遮断可能な機能性調光ガラスが実現可能だが、従来、VO<sub>2</sub>のプロトン化には、水素雰囲気下での高温熱処理や、電解液中における電気化学処理が必要という問題があった。

本研究では、CANをゲート絶縁体として用いたVO<sub>2</sub>薄膜トランジスタ構造を作製し(図3)、室温でのゲート電圧印加によってVO<sub>2</sub>薄膜のプロトン化・脱プロトン化を試みた。正のゲート電圧を印加することで、CAN薄膜中の水に含まれるH<sup>+</sup>イオンをVO<sub>2</sub>薄膜中に電気化学的に導入することでプロトン化した。このとき、VO<sub>2</sub>薄膜のシート抵抗とS(絶対値)は劇的に減少(金属化)し、電子顕微鏡観察の結果、プロトン化前は単斜晶だったVO<sub>2</sub>が、プロトン化後には正方晶(H<sub>x</sub>VO<sub>2</sub>)に変化することが分かった。プロトン化したVO<sub>2</sub>に、負のゲート電圧を印加したところ、脱プロトン化が起こって絶縁体に戻った(図4)。

高温熱処理や電解液を全く必要としない、全固体薄膜デバイス作製に成功したと言える。例えば、窓ガラスに応用することで、室温管理の邪魔者である赤外線の透過率と、エアコンなどの電気スイッチを、オンデマンド制御可能なスマートウィンドウへの応用が期待できるだろう。

本成果は、2015年6月26日に北海道大学から「オンデマンド赤外線&電流制御デバイスを実現」としてプレスリリースされた。

### (4) 含水ナノ多孔性ガラス中の水とSrCoO<sub>2.5</sub>薄膜の酸化還元反応を利用した磁

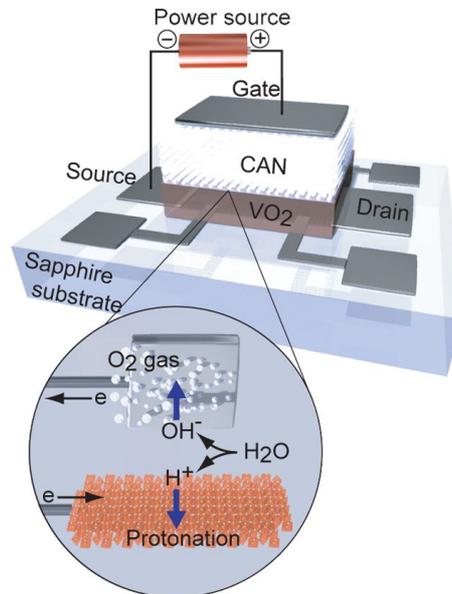


図3 VO<sub>2</sub>薄膜のプロトン化・脱プロトン化を利用した機能性調光ガラスの概念図。

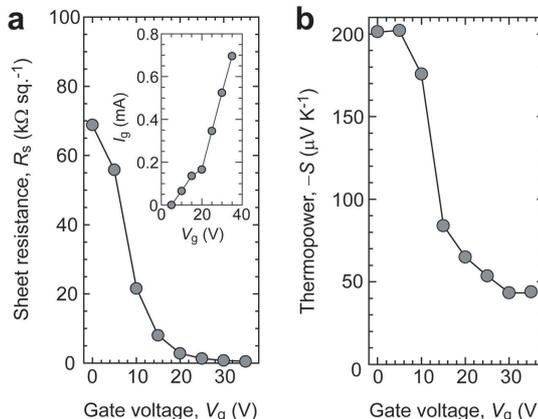


図4 CAN/VO<sub>2</sub>薄膜3端子型トランジスタ構造に(a) 正のゲート電圧印加によりVO<sub>2</sub>をプロトン化したときのシート抵抗の変化と(b) 熱電能Sの変化。

### 気特性-導電性切替デバイス

上述のように、酸化・還元状態が安定な酸化物は、ナノ多孔性ガラスと組み合わせ、3端子薄膜トランジスタ構造とすることで機能デバイスを作製することができる。そこで、本来の目的とは少し異なるが、金属酸化物の酸化・還元状態を制御して、記憶デバイスのような動作ができるか検証した。

USBメモリに代表される現在の情報記憶素子は、シリコンなどの半導体の電気抵抗変化を利用して、電気が流れる状態を“1”、流れない状態を“0”として情報を記憶している。単位体積あたりの情報が記憶できる容量は、素子を小さくすればするほど増やせるが、素子の微細化は限界に近づいているため、将来の大容量化に向けた新しい技術が求められている。例えば、電気が「流れる=1」、「流れない=0」という記録に加えて、「磁石につく=A」、「つかない=B」という情報を同時に記憶することで、記憶容量を飛躍的に向上

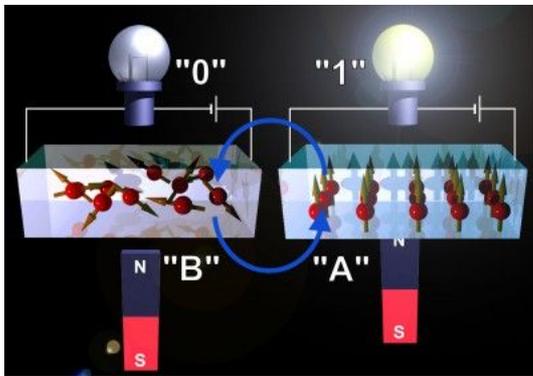


図5 電気絶縁体・非磁性 電気導体・強磁性の変化を用いた情報記憶素子の概念図。

させることができる(図5)。しかし、従来の金属や半導体材料では実現できないデバイスである。

本研究では、コバルト酸ストロンチウム(化学式: $\text{SrCoO}_x$   $2.5 \leq x \leq 3$ )に着目した。 $\text{SrCoO}_{2.5}$ は絶縁体で反強磁性体であり、 $\text{SrCoO}_3$ は良導体で強磁性体である。この大きな物性変化を酸化・還元状態だけで切り替えることが可能である。

室温下で  $\text{SrCoO}_{2.5}$  薄膜上に含水ナノ多孔性ガラスを堆積し、負の電圧で電流を流すことにより、電気化学的に  $\text{SrCoO}_{2.5}$  を酸化し、 $\text{SrCoO}_3$  とした。電気を通さず (=0)、磁石にもつかない (=B) 絶縁体の状態から、電気を良く通し (=1)、磁石につく (=A) 状態に変えることに成功した。サイクル特性は良くないものの、この変化は可逆的であることも分かった。ナノ多孔質ガラス中の  $\text{H}^+/\text{OH}^-$  を利用することで、情報記憶素子が実現可能であることを示すことができた。

この成果は2016年3月23日に文部科学省において記者会見を行い、「絶縁体を電気が流れる磁石に - 情報記憶容量の大幅向上に新たな道 - 」として北海道大学からプレスリリースされ(3月30日)、テレビ・新聞・国内外のインターネットニュースで数多く報道された。

(5) 含水ナノ多孔性ガラス中の水とアモルファス  $\text{WO}_3$  薄膜のプロトン化/脱プロトン化を利用したエレクトロクロミックデバイス「窓ガラスがメモリーに?」

酸化・還元状態が安定な酸化物の代表である、 $\text{WO}_3$  薄膜に含水ナノ多孔性ガラス薄膜を堆積させ、3端子型薄膜トランジスタ構造を作製し、プロトン化/脱プロトン化前後の光・電気特性の変化を調べた(図6)。無アルカリガラス基板(コーニング EAGLE XG) 上にすべて室温下のプロセスで  $\text{WO}_3$  薄膜、CAN 薄膜、 $\text{NiO}$  薄膜、ITO 薄膜を堆積させた。

ゲート電極に正電圧を印加して、 $\text{WO}_3$  をプロトン化すると、シート抵抗が指数関数的に減少し、熱電能  $S$  の絶対値も大きく減少した。逆に、負電圧を印加して  $\text{HWO}_3$  からプロトンを引き抜くとシート抵抗と熱電能  $S$  は初期の

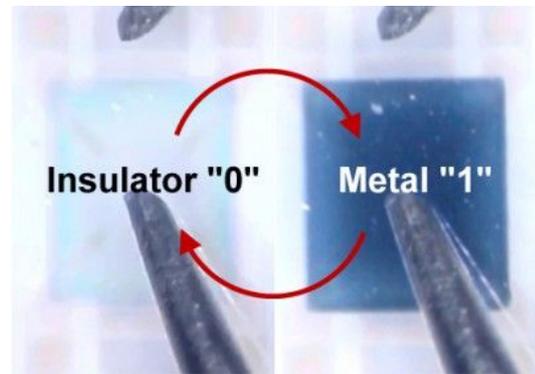


図6 窓ガラスがメモリーになる? CAN/ $\text{WO}_3$  薄膜 3端子型トランジスタ構造のエレクトロクロミズム。

状態に戻ることが分かった。このプロトン化/脱プロトン化はほぼ 100% 可逆的に進行する。同時に、プロトン化により  $\text{WO}_3$  薄膜は濃青色に呈色し、脱プロトン化により無色透明な状態に戻る、エレクトロクロミズムが観察された。

ボーイング社の 787 型旅客機の「電子カーテン」として応用されたことで注目を浴びた「エレクトロクロミズム」は、「エレクトロクロミック材料」と呼ばれる金属イオンを内包する物質を、電気化学的に酸化・還元することで材料の色が無色透明 黒色のように可逆的に変化する現象である。現在、エレクトロクロミズムは、ガラスの色を無色透明 黒色に切り替えて外光の透過率を調節することができるので、旅客機や住宅の窓の「電子カーテン」として応用されている他、夜間の自動車運転中に、ルームミラーに映り込む後続車のヘッドライトの眩しさを和らげるための「防眩ミラー」として応用されはじめており、その市場規模は2016年で15億ドル(約1,600億円) 2023年には40億ドル(約4,300億円) を超えると予測されている(出典: 米国 n-tech Research)。

本研究の CAN/ $\text{WO}_3$  薄膜 3端子型トランジスタ構造素子を情報表示・記憶装置を用いることにより、例えば、窓ガラスに文字や絵などの情報を表示・記憶することができるようになる。本素子は、室温下で製造することができるので、熱に強いガラスだけではなく、熱に弱いプラスチックなどの上にも作製することが可能という特長に加え、大面積化が可能なることから、安価に情報表示・記憶装置が製造可能である。さらに、不揮発性動作であることから、待機電力が不要という優れた特長も有している。

本研究で作製した素子の情報表示・消去に要する時間は約 10 秒であり、情報表示装置としては動作がやや遅いことが課題だが、材料や装置の構造を改良し、タッチパネル技術と組み合わせることで、真に実用的な情報表示・記憶装置が実現すると期待している。

本成果は、2016年5月16日に北海道大学から「窓ガラスがメモリーになる?」としてプレスリリースされた。

## 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 19 件)

S. Katayama, T. Katase, T. Tohei, B. Feng, Y. Ikuhara, H. Ohta, “Reactive solid-phase epitaxy and electrical conductivity of layered sodium manganese oxide films”, *Cryst. Growth Des.* **17**, 1849-1853 (2017). (10.1021/acs.cgd.6b01810) 査読有

太田裕道, “注目をあびるエレクトロクロミック材料とその可能性 - 窓ガラスがメモリーとして利用可能に -”, *工業材料* (日刊工業新聞社), 65 [1], 78-82 (2017). (査読無)

N. Li, T. Katase, Y. Zhu, T. Matsumoto, T. Umemura, Y. Ikuhara, H. Ohta, “Solid-liquid phase epitaxial growth of  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  thin film”, *Appl. Phys. Express* **9**, 125501 (2016). (10.7567/APEX.9.125501) 査読有

T. Katase, T. Onozato, M. Hirono, T. Mizuno, H. Ohta, “A transparent electrochromic metal-insulator switching device with three-terminal transistor geometry”, *Sci. Rep.* **6**, 25819 (2016). (10.1038/srep25819) 査読有

T. Onozato, T. Katase, A. Yamamoto, S. Katayama, K. Matsushima, N. Itagaki, H. Yoshida, H. Ohta, “Optoelectronic properties of valence-state-controlled amorphous niobium oxide”, *J. Phys. Condens. Mater.* **28**, 255001 (2016). (10.1088/0953-8984/28/25/255001) 査読有

T. Katase, Y. Suzuki, H. Ohta, “Reversibly switchable electromagnetic device with leakage-free electrolyte”, *Adv. Electron. Mater.* **2**, 1600044 (2016). (10.1002/aelm.201600044) 査読有

T. Katase, H. Takahashi, T. Tohei, Y. Suzuki, M. Yamanouchi, Y. Ikuhara, I. Terasaki, H. Ohta, “Solid-phase epitaxial growth of A-site-ordered perovskite  $\text{Sr}_{4-x}\text{Er}_x\text{Co}_4\text{O}_{12-d}$ ”, *Adv. Electron. Mater.* **1**, 201500199 (2015). (10.1002/aelm.201500199) 査読有

T. Katase, K. Endo, H. Ohta, “Thermopower analysis of metal-insulator transition temperature modulations in vanadium dioxide thin films with lattice distortion”, *Phys. Rev. B* **92**, 035302 (2015). (10.1103/PhysRevB.92.035302) 査読有

T. Katase, K. Endo, T. Tohei, Y. Ikuhara, H. Ohta, “Room temperature protonation driven on demand metal-insulator conversion of a

transition metal oxide”, *Adv. Electron. Mater.* **1**, 1500063 (2015). (10.1002/aelm.201500063) 査読有

T. Katase, K. Endo, H. Ohta, “Characterization of electronic structure around the metal-insulator transition in  $\text{V}_{1-x}\text{W}_x\text{O}_2$  thin films by thermopower measurement”, *J. Ceram. Soc. Jpn.* **123**, 307-311 (2015). (10.2109/jcersj2.123.307) 査読有

W. S. Choi, H. K. Yoo, H. Ohta, “Polaron transport and thermoelectric behavior in La-doped  $\text{SrTiO}_3$  thin films with elemental vacancies”, *Adv. Funct. Mater.* **25**, 799-804 (2015). (10.1002/adfm.201403023) 査読有

T. Katase, K. Endo, H. Ohta, “Thermopower analysis of the electronic structure around metal-insulator transition in  $\text{V}_{1-x}\text{W}_x\text{O}_2$ ”, *Phys. Rev. B* **90**, 161105(R) (2014). (10.1103/PhysRevB.90.161105) 査読有

W-S. Choi, H. Ohta, H-N. Lee, “Thermopower enhancement by fractional layer control in 2D oxide superlattices”, *Adv. Mater.* **26**, 6701-6705 (2014). (10.1002/adma.201401676) 査読有

太田裕道, 「ナノ構造熱電材料の開発動向」, *高分子* 2014年11月号 (2014). 査読無

H. Jeon, W-S. Choi, M. D. Biegalski, C. M. Folkman, I-C. Tung, D. D. Fong, J. W. Freeland, D. Shin, H. Ohta, M. F. Chisholm, H-N. Lee, “Reversible redox reactions in an epitaxially stabilized  $\text{SrCoO}_x$  oxygen sponge”, *Nature Mater.* **12**, 1057 (2013). (10.1038/nmat3736) 査読有

他、共同研究の成果 4 報あり

[学会発表](計 79 件) 招待講演のみ列举

太田裕道, “導電性酸化物薄膜の物性改質方法”, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会, パシフィコ横浜 (神奈川県・横浜市) 2017年3月14日-17日

H. Ohta, “Thermoelectric Seebeck effect of two dimensional electron gas in  $\text{SrTiO}_3$ ”, ICAFM2017, Chennai (India) 2017年1月6日-8日

H. Ohta and W. S. Choi, “Unusually large thermopower of nanostructured oxides”, ENGE 2016, Jeju (Korea) 2016年11月6日-9日

太田裕道, 金木奨太, 橋詰 保, “熱電能電界変調法:  $\text{AlGaIn}/\text{GaIn}$ -MOSHEMT”, 2016年 第 77 回応用物理学会秋季学術講演会, 朱鷺メッセ (新潟県・新潟市) 2016年9月13日-16日

H. Ohta, T. Katase, “Electro-chemical

redox switching of functional oxide thin films using water-infiltrated nanoporous glass”, IWOX-X, Dalian (China) 2016年1月10日-15日

H. Ohta, T. Katase, K. Endo, Y. Suzuki, “Electro-chemical modulation of functional properties for oxide thin films using water-infiltrated nanoporous glass”, CEMS Topical Meeting on Oxide Interfaces 2015, 理研(埼玉県・和光市)2015年11月5日  
H. Ohta, “Water electrolysis induced modification of functional oxides -Thermoelectric properties-”, IUMRS-ICAM 2015, Jeju (Korea) 2015年10月25日-29日

太田裕道, “熱電変換材料って何?”, 日本化学会秋季事業 第5回CSJ化学フェスタ2015, タワーホール船橋(東京都・江戸川区)2015年10月13日-15日

太田裕道, “水の電気分解を利用した機能性酸化物ナノ層創製”, 日本金属学会2015年秋期講演大会, 九州大学(福岡県・博多市)2015年9月16日-18日

H. Ohta, “Development of oxide-based nanostructured thermoelectric materials”, 4th International Symposium on Energy Challenges and Mechanics -working on small scales”, Scotland (UK) 2015年8月11日-13日

H. Ohta, “Two-dimensional giant thermopower -SrTiO<sub>3</sub>-based superlattices and transistors-“, CMCEE-11, Vancouver (Canada) 2015年6月14日-19日

H. Ohta, “Thermoelectric effect of extremely thin electron doped SrTiO<sub>3</sub>“, The 1st IOP-RIES Joint Workshop, 北海道大学(北海道・札幌市)2015年3月23日

H. Ohta, “Thermopower enhancement of two-dimensional electron gas in oxide semiconductors”, EMA2015, Orlando (USA) 2015年1月21日-23日

太田裕道, “酸化物薄膜作製におけるパルスレーザー堆積法とその応用”, 3次元造形&薄膜実践セミナー, 東京工業大学(東京都・目黒区)2014年9月26日

太田裕道, 片瀬貴義, “水電気分解を利用した酸化物の熱電能変調”, 第75回応用物理学会秋季学術講演会, 北海道大学(北海道・札幌市)2014年9月17日-20日

H. Ohta, “Epitaxial Film Growth and Application of Functional Oxides”, HOKUDAI-NCTU Joint Symposium, 北海道大学(北海道・札幌市)2014年9月10日-11日

太田裕道, “酸化物半導体に蓄積された二次元電子ガス - 熱電能を中心に -”, 統

合物質創製化学推進事業第5回若手研究会, 休暇村支笏湖(北海道・千歳市)2014年6月20日-21日

H. Ohta, “Electric Field Modulation of a Thermoelectric Material”, Thermec 2013, Las Vegas (USA) 2013年12月2日-6日

他、一般講演 61件あり

〔図書〕(計2件)

H. Ohta, Chapter 4.3 Thermoelectrics in “Metal Oxide-Based Thin Film Structures (1st Edition)”, (ISBN 9780128111666), ELSEVIER

太田裕道, 透明導電膜の技術(改訂3版) 6章5節 「パルスレーザー堆積法」(2014)(ISBN 978-4-274-21522-3)

〔産業財産権〕

○出願状況(計3件)

半導体装置, 太田裕道, 片瀬貴義, 鈴木雄喜, 北海道大学, PCT, JP2016/050206, 2016年1月6日出願(PCT)

Strontium Cobaltite Oxygen Sponge Catalyst and Methods of USE, H.N. Lee, H. Jeon, W-S. Choi, M. Biegalski, C.M. Folkman, I-C. Tung, D.D. Fong, J.W. Freeland, D. Shin, H. Ohta, M.F. Chisholm, Oak Ridge National Laboratory, United States Patent US2015/0148218 A1, 2015年5月28日出願(US)

半導体装置, 太田裕道, 片瀬貴義, 鈴木雄喜, 北海道大学, 特願 2015-002769, 2015年1月9日出願(国内)

〔その他〕

○ホームページ

<http://functfilm.es.hokudai.ac.jp/>

○新聞報道等(計26件)

「記憶媒体 容量2倍に 北大教授ら開発 スマホに應用可」, 読売新聞(2016年4月16日朝刊26面北海道版)

「北大が新しい記憶装置を開発」, 北海道放送 HBC ニュース(2016年3月30日) “The switch that could double USB memory”, Space Daily, 6 July 2016

他、国内外で合計26件の報道あり。

6. 研究組織

(1)研究代表者

太田 裕道(OHTA HIROMICHI)  
北海道大学・電子科学研究所・教授  
研究者番号: 80372530

(4)研究協力者

片瀬 貴義(KATASE TAKAYOSHI)  
北海道大学・電子科学研究所・助教  
研究者番号: 90648388