

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 30 年 6 月 9 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H05543

研究課題名(和文)水の電気分解を利用した酸化物薄膜固体デバイスの電気物性制御

研究課題名(英文)Electronic property control of solid-state oxide thin-film device by water electrolysis

研究代表者

片瀬 貴義 (KATASE, TAKAYOSHI)

東京工業大学・科学技術創成研究院・准教授

研究者番号：90648388

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 18,700,000円

研究成果の概要(和文)：安心・安全な水の電気分解を利用して、酸化物薄膜の電気物性をオンデマンド制御する薄膜固体デバイスの実現を目的とし、室温付近で金属-絶縁体転移を示す二酸化バナジウム(VO<sub>2</sub>)薄膜を活性層に用いて、含水ナノ多孔質ガラスをゲート絶縁体とする薄膜トランジスタ構造を作製した。室温・大気中でゲート電圧を印加することで、電気化学的にプロトンVO<sub>2</sub>に脱挿入し、金属-絶縁体相を可逆的に変調することに成功した。さらに安価で大面積化が可能なガラス基板上のVO<sub>2</sub>多結晶薄膜に本提案手法を適用することで、室温で赤外線透過する絶縁体から、赤外線を遮断する金属に切り替え可能なエレクトロクロミック素子の実証まで成功した。

研究成果の概要(英文)：On-demand electronic property control of oxide thin films was demonstrated by using an all-solid-state thin-film transistor (TFT) structure with water-electrolysis. The TFT structure was fabricated on vanadium dioxide (VO<sub>2</sub>) channel with a gate insulator of water-infiltrated nanoporous glass. Alternative positive/negative gate-voltage applications induced the reversible protonation/deprotonation of VO<sub>2</sub> channel, leading to reversible metal-insulator conversion at room temperature. The TFT structure was applied for VO<sub>2</sub> polycrystalline film on glass substrate and it is succeeded to demonstrate the electrochromic device that reversibly modulates from infrared (IR) transparent insulator to IR opaque metal state. The present device is operable by the room-temperature protonation in all-solid-state structure, and thus this concept will provide a new approach for the development of new functional devices.

研究分野：酸化物エレクトロニクス

キーワード：薄膜トランジスタ プロトン 水の電気分解 エレクトロクロミック素子

1. 研究開始当初の背景

近年、金属酸化物への水素脱挿入による新規物性探索や大幅な物性変調の研究が精力的に行われている[例えば、M. A. Hayward *et al.*, *Science* 295 (2002) 1882.]. 金属酸化物中の水素は、イオン化したプロトン ( $H^+$ ) やヒドリド ( $H^-$ ) として存在することができるため、酸化物の結晶・電子構造に大きな影響を及ぼし、電子伝導性や光学特性など、様々な物性を大きく変化させる。中でも、二酸化バナジウム ( $VO_2$ ) は室温付近の  $68^\circ C$  を境に、温度変化によって金属-絶縁体転移を示し、赤外線透過率が大幅に変化するサーモクロミック現象を示すが[F. J. Morin, *Phys. Rev. Lett.* 3 (1959) 34., C. N. Berglund *et al.*, *Phys. Rev.* 185 (1969) 1022.],  $VO_2$  ナノ細線を金属触媒と共に水素ガス中で熱処理することでプロトン化 ( $H_xVO_2$ ) し、室温で絶縁体から金属に相変化させることができる[J. Wei *et al.*, *Nature Nanotechnol.* 7 (2012) 357.].  $VO_2$  のプロトン化・脱プロトン化による劇的な相変化を利用したメモリーデバイスや調光ガラスへの応用が期待できるが、 $VO_2$  をプロトン化させるためには、水素ガス中での高温熱処理が必要だった。 $VO_2$  のプロトン化・脱プロトン化を室温で自在に制御できれば、相転移現象を利用した新しい電子機能デバイスの開発を加速できると共に、酸化物の機能探索・変調法の新しいアプローチとしての発展が期待できる。

2. 研究の目的

本研究では、金属酸化物薄膜の水素脱挿入による電気特性のオンデマンド制御法の確立を目指して、我々独自に開発した含水ナノ多孔質ガラス“CAN” (Calcium Aluminate with Nanopore) をゲート絶縁体とする全固体の3端子薄膜トランジスタ (TFT) 構造(H. Ohta *et al.*, *Nature Commun.* 1 (2011) 118.)を  $VO_2$  薄膜に適用し、室温プロトン化による  $VO_2$  薄膜の金属-絶縁体相制御に挑戦した。TFT のゲート絶縁体に用いる CAN は、組成が  $12CaO \cdot 7Al_2O_3$  (C12A7) の多孔質構造を有するアモルファス薄膜であり、C12A7 が親水性材料であるため、吸着した大気中の水が、毛細管現象によりナノ細孔中に取り込まれることで、含水ナノ多孔質ガラスが実現する。外部電圧の印加により CAN ゲート絶縁体中の  $H_3O^+$  と  $OH^-$  イオンを活用できるユニークな薄膜トランジスタであり、電圧の極性により、活性層の金属酸化物を酸化・還元することができ、漏液しないため、実用化しやすい特徴も有する。

そこで  $VO_2$  の電子構造に着目した。図 1(a) に母相  $VO_2$  (絶縁体) の電子構造を示す。 $VO_2$  の伝導帯下端 ( $E_c$ ) が水素発生電位 ( $H^+/H_2$ ) よりもエネルギー的に低く、且つ、価電子帯上端 ( $E_v$ ) が酸素発生電位 ( $O_2/H_2O$ ) よりも高いため、ガス生成することなく、容易に

$H^+$  を膜中に出し入れできると期待される。 $CAN$  をゲート絶縁体とする薄膜トランジスタは、まさにナノサイズの電気化学反応セルと考えることができ (図 1(b))、正・負ゲート電圧印加による強力な電界と水の電気分解により、 $VO_2$  薄膜のプロトン化・脱プロトン化を高効率にオンデマンド制御できると期待した。

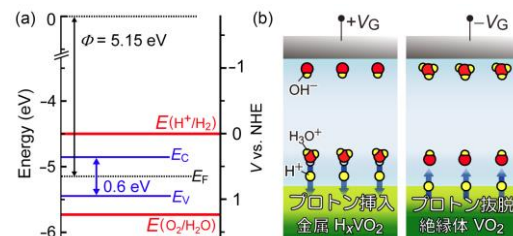


図 1: (a) 絶縁体  $VO_2$  の電子構造。(b) 正・負ゲート電圧 ( $V_g$ ) 印加時における  $VO_2$  薄膜の電解誘起  $H^+$  脱挿入の概念図。トランジスタ構造のナノ平行平板間に閉じ込めた水を利用して、“室温”で強電界により  $H^+$  を脱挿入する。

3. 研究の方法

含水多孔質ガラスをゲート絶縁体に用いた TFT による室温プロトン化を検証するために、サファイア基板上に作製した  $VO_2$  エピタキシャル薄膜を用いて TFT 構造を作製した (図 2)。厚さ 20nm の  $VO_2$  エピタキシャル薄膜の上に、メタルマスクを用いて、含水多孔性ガラスをゲート絶縁体に用いたトップゲート型 TFT 構造を作製した。 $VO_2$  エピタキシャル薄膜は、パルスレーザー堆積 (PLD) 法により A 面  $Al_2O_3$  単結晶基板上 (基板温度  $T_s = 500^\circ C$ , 酸素圧  $P_{O_2} = 2 Pa$ ) に作製した。薄膜/基板のエピタキシャル関係は  $(100)[010] VO_2 \parallel (11-20)[0001] Al_2O_3$  であり、作製した  $VO_2$  薄膜の金属-絶縁体転移温度は  $65^\circ C$  で、バルクで報告されている値 ( $68^\circ C$ ) とほぼ一致した。次いで、ゲート絶縁体としてナノ細孔を持つ CAN 薄膜を、PLD 法により室温・高酸素圧下 ( $P_{O_2} = 5 Pa$ ) で 200 nm 成膜した (C12A7 薄膜は高酸素圧下で成膜することで多孔質化する)。ソース、ドレイン、ゲート電極は、厚さ 20nm の Ti 金属薄膜を電子線蒸着により室温で成膜した。

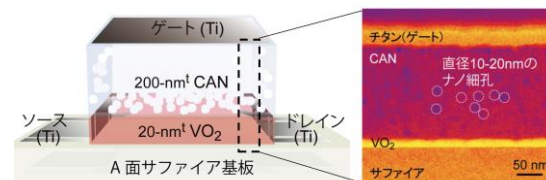


図 2: 含水多孔質ガラス (CAN) をゲート絶縁体に用いた  $VO_2$  薄膜トランジスタの模式図。右は透過型電子顕微鏡で観察した  $VO_2$  薄膜トランジスタの断面像。CAN 中に直径 10-20nm のナノ細孔が存在し、大気中の水分が自動的に取り込まれることで、固体の含水多孔性ガラスが実現する。

4. 研究成果

4.1. 室温プロトン化による  $VO_2$  薄膜トランジスタの金属絶縁体相制御

まず、作製した VO<sub>2</sub>TFT に+5V から+35V までゲート電圧 (V<sub>g</sub>) を印加して計測したゲート電流 (I<sub>g</sub>) の時間依存性と、挿入図に各 V<sub>g</sub> で 10 分間印加した時の I<sub>g</sub> をプロットしたデータを図 3(a)に示す。+10V から急激に I<sub>g</sub> が増大した後、V<sub>g</sub> に対して指数関数的に増加していることが分かる。図 3(b)には、各 V<sub>g</sub> で 10 分間印加した後に計測したシート抵抗 (R<sub>s</sub>) の V<sub>g</sub> 依存性を示す。R<sub>s</sub> は、V<sub>g</sub> 増加に伴って減少し、+10V 以上では指数関数的に減少していることから、流れる電流 (イオン電流) に相関して、絶縁体から金属に変化することが分かった。

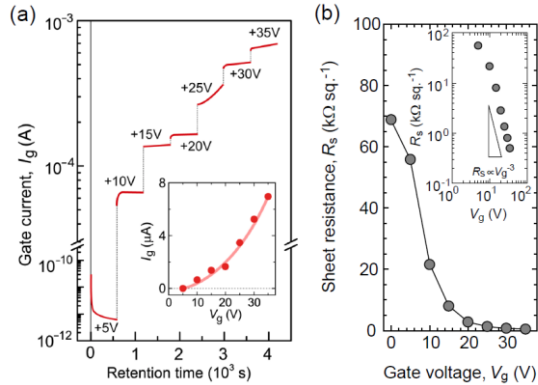


図 3: (a) VO<sub>2</sub> 薄膜トランジスタのゲート電流 (I<sub>g</sub>) の電圧 (V<sub>g</sub>) 印加時間依存性。挿入図は、I<sub>g</sub> の V<sub>g</sub> 依存性を示す。(b) 室温におけるシート抵抗 (R<sub>s</sub>) の V<sub>g</sub> 依存性。

デバイス動作の可逆性を調べるために、室温で VO<sub>2</sub>TFT に、正と負の V<sub>g</sub> = ±20V を印加 (各 V<sub>g</sub> 印加時間 1 分) して、プロトン化・脱プロトン化の可逆制御を行った結果を図 4 に示す。V<sub>g</sub> = ±20V 印加することで、それぞれ I<sub>g</sub> = ±~0.15mA の大きなイオン電流が流れると共に、R<sub>s</sub> 値を可逆的にスイッチング (R<sub>s</sub> 変化率約二桁) することに成功した。なお、プロトン化後の H<sub>x</sub>VO<sub>2</sub> 薄膜の R<sub>s</sub> 値は室温・大気中で安定であることから、不揮発に抵抗変化させることができることが分かった。

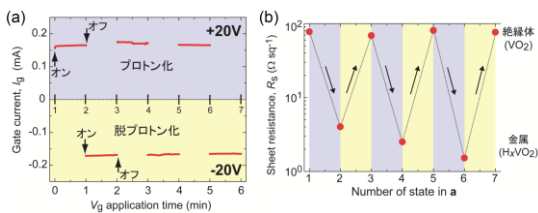


図 4: ±20V の V<sub>g</sub> 印加による VO<sub>2</sub> TFT の可逆動作。(a) V<sub>g</sub> 印加時におけるゲート電流 (I<sub>g</sub>)。それぞれ約 ±0.15mA の電流が流れる。(b) a) における各 OFF 状態でのシート抵抗 (R<sub>s</sub>) 変化。流れるイオン電流に相関して VO<sub>2</sub> 薄膜がプロトン化・脱プロトン化し、室温で R<sub>s</sub> 変化率約 2 桁の可逆変調が可能である。

次いで VO<sub>2</sub> 薄膜のプロトン化による電子構造変化を調べるために、各 V<sub>g</sub> 印加後の熱電能 (S) を室温で計測した (図 5(a)左)。S はフェルミ準位近傍の状態密度のエネルギー微分を反映するため、キャリアドーピングによる電子構造変化を可視化する非常に有効的な手段で

ある。S 値は V<sub>g</sub> を印加することで -200μV/K (絶縁体) から緩やかに減少し、約 -40μV/K で一定になった。VO<sub>2</sub> の絶縁体と金属相の電子構造を元に考えると、絶縁体に電子ドーピングすることで、状態密度の傾きが緩やかになって S 値は減少し、金属に転移すると、小さい値で一定になると考えられる (図 5(b))。なお V<sub>g</sub> 印加後の S 値は、金属 H<sub>x</sub>VO<sub>2</sub> バルクで報告されている S 値 (-35μV/K) に近いことから、プロトン化により絶縁体から金属に変化したと考えられる。比較のため、図 5(a)右に W (電子) ドープした VO<sub>2</sub> エピタキシャル薄膜の S 値の W 濃度依存性を示すが、同じ相関を持って減少していることから、V<sub>g</sub> 印加によって電子ドーピングされ、絶縁体から金属に向かって変化したと言える。

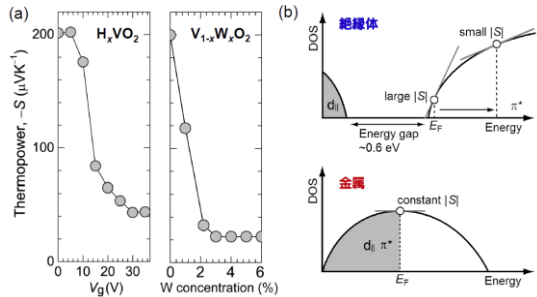


図 5: (a) VO<sub>2</sub> 薄膜トランジスタの熱電能 (S) の V<sub>g</sub> 依存性。比較のため、異原子価イオン (W) ドープによる V<sub>1-x</sub>W<sub>x</sub>O<sub>2</sub> 薄膜の S 値の変化を右に示す。(b) VO<sub>2</sub> の絶縁体相と金属相の電子構造の概念図。

VO<sub>2</sub> の金属-絶縁体変化は、V イオンのダイマー形成に伴う、金属の正方晶から絶縁体の単斜晶への構造変化に密接に関連している。そこで、VO<sub>2</sub> 薄膜のプロトン化に伴う構造変化を調べるために、V<sub>g</sub> 印加前後の VO<sub>2</sub> 薄膜に対して電子顕微鏡観察を行った。図 6 に V<sub>g</sub> 印加によるプロトン化前後の VO<sub>2</sub> 薄膜の制限視野電子回折像を示す。プロトン化前は、V イオンのダイマー形成による単斜晶構造に起因する超格子反射が見られた (矢印で示す)。一方、プロトン化後の VO<sub>2</sub> 薄膜には超格子構造のスポットは見られず、正方晶の構造と一

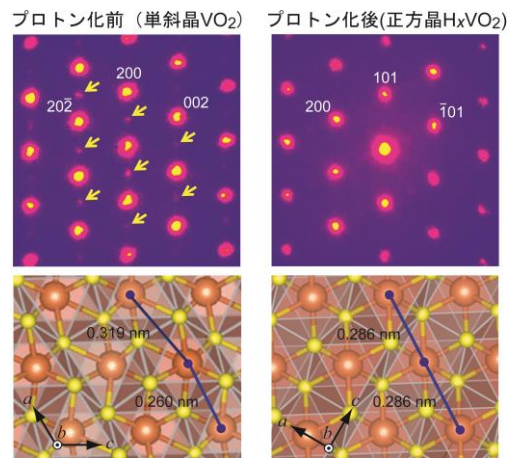


図 6: VO<sub>2</sub> 薄膜トランジスタのプロトン化前後における電子回折像の変化。下図は、プロトン化による単斜晶の絶縁体 VO<sub>2</sub> から正方晶の金属 H<sub>x</sub>VO<sub>2</sub> への構造変化を示す。



致した。このことから、プロトン化によって、VO<sub>2</sub>薄膜が絶縁体-金属変化と同時に、単斜晶から正方晶に構造変化していることが分かった。以上の結果から、含水多孔質ガラスをゲート絶縁体に用いた TFT 構造を VO<sub>2</sub> 薄膜に適用することで、室温プロトン化により金属-絶縁体相を可逆的に変調することに成功したと言える。

#### 4.2. 全透明エレクトロクロミック素子への応用

最後に含水多孔質ガラスをゲート絶縁体に用いた TFT 構造を応用して VO<sub>2</sub> エレクトロクロミック素子の試作を行った。具体的には、ガラス基板上に成膜した VO<sub>2</sub> 多結晶薄膜上に CAN 薄膜をゲート絶縁体とする、全透明な TFT 型電極配置を作製し、赤外線透過率と導電率の同時制御に挑戦した。ソース・ドレイン電極として、VO<sub>2</sub> と同じルチル型構造を有する F ドープ SnO<sub>2</sub> 透明導電膜 (40 nm) を、PLD (温度 300 °C, 酸素圧 3 Pa) により成膜した。その上に金属マスクを用いて、VO<sub>2</sub> 多結晶薄膜 (2 mm × 2 mm 角, 20 nm 厚) を温度 520 °C, 酸素圧 1.7 Pa で成膜し、次いで、含水ナノ多孔質ガラス (70 nm) を室温で成膜した。本デバイスでは、VO<sub>2</sub> のプロトン吸収層に対して、15 nm 厚の NiO を酸素吸蔵カウンター層として用いることで、電気化学的サイクル性の改善を狙った。最後に、15 nm 厚の ITO 薄膜をゲート電極として室温で成膜した (図 7)。

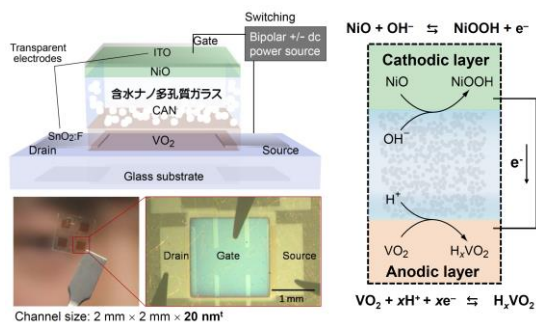


図 7: (左) 3 端子型全透明エレクトロクロミック素子のデバイス構造と写真。(右) デバイス動作の概念図。電気化学的なサイクル特性を向上させるために、H<sup>+</sup>吸収層の VO<sub>2</sub> に対して、NiO 薄膜を OH<sup>-</sup> 吸収カウンター層に用いる。

VO<sub>2</sub> エレクトロクロミック素子に +12V (プロトン化) と -30V (脱プロトン化) をそれぞれ 10 秒間印加した後に測定した R<sub>s</sub> の温度変化 (図 8(a)) と室温の光透過率スペクトル (図 8(b)) を示す。V<sub>g</sub> 印加前は、温度約 70°C に明瞭な金属-絶縁体転移が見られるが、V<sub>g</sub>=+12V の印加により、相転移は消失し、室温まで金属的な温度依存性を示した。逆に V<sub>g</sub>=-30V を印加することで、また金属-絶縁体相転移が出現したことから、プロトン化により転移温度が室温以下まで低温化し、且つ、正負の V<sub>g</sub> 印加によって、可逆的に相転移を制御できたと言える。一方、VO<sub>2</sub> エレクトロクロミック素子の光透過率では、V<sub>g</sub> 印加前、及び、

V<sub>g</sub>=-30V 印加時は、赤外線に対して透明な状態であるが、V<sub>g</sub>=+12V 印加により、可視光領域では殆ど変化しないが、波長 3000nm の領域で、変化率 50% の赤外線変調が見られたことから、赤外線透過率と導電率の同時制御に成功した。

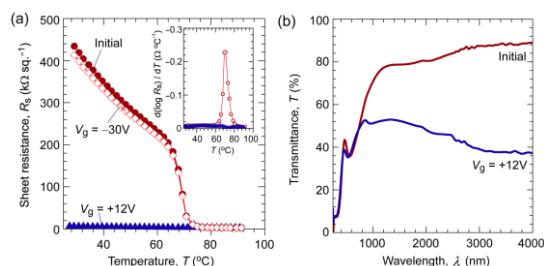


図 8: VO<sub>2</sub> エレクトロクロミック素子の、V<sub>g</sub> 印加前、V<sub>g</sub>=+12V 印加後、V<sub>g</sub>=-30V 印加後における、R<sub>s</sub> の温度変化 (a) と光透過率スペクトル (b)。

#### まとめ

含水多孔質ガラスをゲート絶縁体に用いた TFT 構造を応用することで、VO<sub>2</sub> 薄膜を室温で電気的にプロトン化・脱プロトン化し、金属-絶縁体相を可逆的に変調することに成功した。さらに安価で大面積化が可能なガラス基板上の VO<sub>2</sub> 多結晶薄膜に本提案手法を適用することで、室温で正・負ゲート電圧を交互に印加し、赤外線を透過する絶縁体から、赤外線を遮断する金属に切り替わるエレクトロクロミック素子として動作させることに成功した。本デバイスは、含水ナノ多孔質ガラスを用いるため、全固体の薄膜構造で漏液の心配も無く、金属酸化物の室温プロトン化を利用した電子機能デバイスへの応用が期待できる。

#### 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 15 件)

1. T. Katase, K. Endo, T. Tohei, Y. Ikuhara, and H. Ohta: Room-temperature-protonation-driven on-demand metal-insulator conversion of a transition metal oxide; *Adv. Electron. Mater.* 1 (2015) 1500063. (DOI: 10.1002/aelm.201500063) 査読有
2. T. Katase, K. Endo, and H. Ohta: Thermopower analysis of metal-insulator transition temperature modulations in vanadium dioxide thin films with lattice distortion; *Phys. Rev. B* 92 (2015) 035302-1-7. (DOI: 10.1103/PhysRevB.92.035302) 査読有
3. T. Katase, H. Takahashi, T. Tohei, Y. Suzuki, M. Yamanouchi, Y. Ikuhara, I. Terasaki, and H. Ohta: Solid-phase epitaxial growth of A-site-ordered perovskite Sr<sub>4-x</sub>Er<sub>x</sub>Co<sub>4</sub>O<sub>12-δ</sub>: a room temperature ferrimagnetic p-type semiconductor; *Adv. Electron. Mater.* 1

- (2015) 1500199.  
(DOI: 10.1002/aelm.201500199) 査読有
4. **T. Katase**, Y. Suzuki, and H. Ohta: Reversibly switchable electromagnetic device with leakage-free electrolyte; *Adv. Electron. Mater.* 2 (2016) 1600044.  
(DOI: 10.1002/aelm.201600044) 査読有
5. **T. Katase**, K. Endo, and H. Ohta: Electrolysis-induced protonation of VO<sub>2</sub> thin film transistor for the metal-insulator phase modulation; *Proc. SPIE* 9749 (2016) 974916.  
(DOI: 10.1117/12.2222255) 査読有
6. **T. Katase**, T. Onozato, M. Hirono, T. Mizuno, and H. Ohta: A transparent electrochromic metal-insulator switching device with three-terminal transistor geometry; *Sci. Rep.* 6 (2016) 25819.  
(DOI: 10.1038/srep25819) 査読有
7. T. Onozato, **T. Katase**, A. Yamamoto, S. Katayama, K. Matsushima, N. Itagaki, H. Yoshida, and H. Ohta: Optoelectronic properties of valence-state-controlled amorphous niobium oxide; *J. Phys. Condens. Mater.* 28 (2016) 255001.  
(DOI: 10.1088/0953-8984/28/25/255001) 査読有
8. N. Li, **T. Katase**, Y. Zhu, T. Matsumoto, T. Umemura, Y. Ikuhara, and H. Ohta: Solid-liquid phase epitaxial growth of Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub> thin film; *Appl. Phys. Express* 9 (2016) 125501.  
(DOI: 10.7567/APEX.9.125501) 査読有
9. S. Katayama, **T. Katase**, T. Tohei, B. Feng, Y. Ikuhara, and H. Ohta: Reactive solid-phase epitaxy and electrical conductivity of layered sodium manganese oxide films; *Cryst. Growth Des.* 17 (2017) 1849-1856.  
(DOI: 10.1021/acs.cgd.6b01810) 査読有
10. **T. Katase**, K. Endo, and H. Ohta: Infrared-transmittance tunable metal-insulator switching device on a glass substrate; *APL Mater.* 5 (2017) 056105.  
(DOI: 10.1063/1.4983276) 査読有
11. **T. Katase** and H. Ohta: Transition-metal-oxide based functional thin-film device using leakage-free electrolyte; *J. Ceram. Soc. Jpn.* 125 (2017) 608-615. *The 71st CerSJ Awards for Advancements in Ceramic Science and Technology: Review*  
(DOI: 10.2109/jcersj2.17098) 査読有
12. **T. Katase**, Y. Suzuki, and H. Ohta: Highly conducting leakage-free electrolyte for SrCoO<sub>x</sub>-based non-volatile memory device; *J. Appl. Phys.* 122 (2017) 135303.  
(DOI: 10.1063/1.5005520) 査読有
13. N. Watanabe, K. Ide, J. Kim, **T. Katase**, H. Hiramatsu, H. Hosono, and T. Kamiya: Multi-color light-emitting thin films based on ultra-wide bandgap amorphous oxide semiconductor deposited at room temperature on glass; *Physica Status Solidi (a)* 8 (2018)1700833.  
(DOI: 10.1002/pssa.201700833) 査読有
14. K.-K. Fu, R.-B. Wang, **T. Katase**, H. Ohta, N. Koch, and S. Duhm: Stoichiometric and Oxygen-Deficient VO<sub>2</sub> as Versatile Hole Injection Electrode for Organic Semiconductors; *ACS Appl. Mater. Interfaces* 10 (2018) 10552-10559.  
(DOI: 10.1021/acsami.8b00026) 査読有
15. K. Ide, K. Ishikawa, H. Tang, **T. Katase**, H. Hiramatsu, H. Kumomi, H. Hosono, and T. Kamiya: Effects of impurity hydrogen in amorphous In-Ga-Zn-O: ultralow optimum oxygen supply for ultrahigh vacuum sputtering and bandgap widening by impurity hydrogen; *Physica Status Solidi (a)* 8 (2018) 1700832.  
(DOI: 10.1002/pssa.201700832) 査読有

[学会発表] (計 73 件)

主要な学会発表成果のみ記載

1. **T. Katase**, Y. Suzuki, and H. Ohta, "Room-temperature-operatable electro-magnetic phase switching device", The 22nd International Workshop on Oxide Electronics (WOE 22), College de France, Paris, France, 2015 年 10 月 7 日-9 日 (Contributed oral).
2. **T. Katase**, Y. Suzuki, and H. Ohta, "All-solid-state non-volatile electro-magnetic phase switching device", The 8th International Conference on the Science and Technology for Advanced Ceramics (STAC-8), Kanagawa, Japan, 2015 年 10 月 19 日-21 日 (Contributed oral).
3. 片瀬貴義、太田裕道、"水電気分解を利用した機能性酸化物の光・電子・磁気物性可逆変調" 附置研究所間アライアンス 第三回若手研究交流会、九州大学、福岡、2015 年 11 月 16 日-17 日 (Invited).
4. **T. Katase**, Y. Suzuki, H. Ohta, "Electrically controlled electro-magnetic phase conversion in magnetic oxide at room temperature", PACIFICHEM (The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies) 2015, Honolulu, Hawaii, 2015 年 12 月 15-20 日 (Contributed oral).
5. 片瀬貴義、太田裕道、"水の電気分解を利用した機能性酸化物の電気・磁気・光物性変調デバイス" 第 311 回 応用セラミックス研究所学術講演会 [第 7 回 材料構造講演会]、東京工業大学すずかけ台キャンパス、神奈川、2016 年 2 月 3 日 (Invited).

6. **T. Katase** and H. Ohta, "Reversible switching of optoelectric and electro-magnetic properties of functional oxides using water-infiltrated glass" SPIE Photonics West 2016, San Francisco, USA, 2016年2月13-18日. (Invited).
7. **片瀬貴義**、遠藤賢司、太田裕道、「オンデマンド赤外線透過率-導電率同時切替デバイスの作製」、第63回応用物理学会春季学術講演会、東京工業大学 大岡山キャンパス、東京、2016年3月19日-22日（一般講演）。
8. **片瀬貴義**、鈴木雄喜、太田裕道 “絶縁体から導電性磁石への可逆切替デバイス-高密度情報記憶素子に向けて-” 日本セラミックス協会第29回秋季シンポジウム、広島大学 東広島キャンパス、広島、2016年9月7日-9日（依頼講演）。
9. **T. Katase** Y. Suzuki, and H. Ohta, "Electrochemical modulation of insulator to conducting magnet; A new Route for high-capacity information storage device" International Research School: Electronic States and Phases Induced by Electric or Optical Impacts (IMPACT) 2016, Cargese (France), 2016年8月23日-9月2日. (Invited).
10. **T. Katase**, T. Onozato, Y. Suzuki, K. Endo, M. Hirano, T. Mizuno, T. Tohei, Y. Ikuhara, and H. Ohta, "Water-gated thin film transistors on functional oxides - Toward multifunctional memory devices -", 2016 MRS Fall Meeting & Exhibit, Boston, USA, 2016年11月27日-12月2日 (Contributed oral).
11. **片瀬貴義** “無機機能性材料の薄膜成長とデバイス化”，第17回フロンティア材料研究所講演会（第10回材料構造講演会）「構造と新規物質・新機能」，東京工業大学フロンティア材料研究所、東京工業大学、すずかけ台キャンパス、神奈川、2016年12月6日（招待講演）。
12. **片瀬貴義**、遠藤賢司、太田裕道 “赤外線透過率-導電率同時切替デバイスの開発～多機能型スマートウィンドウに向けて～” 第22回クロモジェニック研究会、国立研究開発法人 産業技術総合研究所 中部センター、愛知、2016年11月11日。（招待講演）。
13. **片瀬貴義**、太田裕道，“遷移金属酸化物の電気化学反応を利用した機能変調デバイス”，6大学連携プロジェクト公開討論会、名古屋大学、名古屋、2017年3月30日（招待講演）。
14. **片瀬貴義**、太田裕道，“（平成28年度進歩賞受賞講演）” 遷移金属酸化物の酸化・還元を利用した薄膜機能デバイスの開発”，日本セラミックス協会2017年年会、日本大学駿河台キャンパス、東京、2017年3月17日-19日（招待講演）
15. **片瀬貴義**、太田裕道，“含水多孔質ガラスを用いたオンデマンド赤外線透過率-導電

率制御デバイス”，日本真空学会 スパッタリングおよびプラズマプロセス技術部会、機械振興会館、東京都、2017年10月31日（招待講演）。

16. **T. Katase** and H. Ohta, "Room-temperature-protonation-driven optoelectronic device with water-gated thin-film-transistor structure", the 8th International Conference and Exhibition on Lasers, Optics & Photonics, Las Vegas, USA, 2017年11月15日-17日 (Invited).

〔産業財産権〕

○出願状況（計1件）

名称：国際特許出願

発明者：太田裕道、片瀬貴義、鈴木雄喜

権利者：国立大学法人北海道大学

種類：特許

番号：PCT/JP2016/050206

出願年月日：2016年1月6日

国内外の別：外国

〔その他〕

ホームページ等

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

新聞報道等（計23件）

1. 「北大、赤外線のみをスイッチングする薄膜を開発」、月刊 OPTRONICS ONLINE (2015年6月30日)

2. 「色変化・電流の有無で動作 北大が記憶装置を開発」、日刊工業新聞 6面 (2016年6月1日)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

片瀬 貴義 (KATASE TAKAYOSHI)

東京工業大学・科学技術創成研究院・准教授

研究者番号：90648388