

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 11 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K04652

研究課題名(和文) 相転移酸化物薄膜の面直方向スイッチングに基づく低電圧発振素子に関する研究

研究課題名(英文) Study on low-voltage self-oscillation devices based on out-of-plane threshold switching in phase transition oxide thin films

研究代表者

沖村 邦雄 (Okimura, Kunio)

東海大学・工学部・教授

研究者番号：00194473

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は68 付近で4桁に及ぶ抵抗変化を伴う絶縁体-金属転移(IMT)を発現する二酸化バナジウム(VO₂)薄膜を動作層とする自励発振現象に関するものである。配向TiN(111)上へ低温成膜によって界面特性に優れるVO₂/TiN/Ti/Si積層素子を作製した。本素子は1.6 Vの低電圧において負性抵抗域を持つしきい値スイッチングを示した。更に、TiN層とVO₂薄膜にプローバ探針を当て、その接触圧を5～150 MPaと変化させた結果、60 MPa時に15 MHzの世界最高周波数を得た。本発振はVO₂の中間相を経由している可能性があり、構造安定な発振素子実現に重要な成果と考えられる。

研究成果の概要(英文)：In this project, we studied self-oscillation phenomena of layered devices with vanadium dioxide (VO₂) films which show insulator-metal transition (IMT). We fabricated VO₂ films on (111)-oriented TiN metallic layers on Ti/Si substrates at low temperatures. By using the VO₂/TiN/Ti/Si layered structure, we demonstrated low voltage threshold switching at 1.6 V with negative resistance region which is necessary for self-oscillation. By adjusting contact probes pressure on VO₂ and TiN, we realized self-oscillation with controlled values of frequency. We realized oscillation with the world highest value of 15 MHz under probes pressure of 60 MPa. The obtained results are considered to be important for realizing stable oscillation devices without structure changes.

研究分野：電子材料

キーワード：相転移酸化物 バナジウム酸化物 絶縁体金属転移 負性抵抗特性 しきい値スイッチング 自励発振現象 結晶成長 薄膜堆積

1. 研究開始当初の背景

二酸化バナジウム(VO_2)は強い電子相関を有する強相関電子系物質であり、 68°C 程度の低い温度域で絶縁体 - 金属転移 (Insulator-Metal Transition; IMT)を生じ5桁に及ぶ急峻な抵抗変化を示す。 VO_2 のような一次相転移物質に対して電界印加による相転移が期待され、2000年にロシアのStefanovichらによるパルス電圧印加によるスイッチング現象に関する論文 (G. Stefanovich *et. al.*, *J. Phys.:Cond. Matter*, **12** (2000) 8837.) が発表され、2004年以降は韓国のグループなどが電圧印加によるIMTを報告 (H.T. Kim *et. al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **86** (2005) 242101)して、デバイス応用への模索を開始している。申請者も反応性スパッタリング法により成長した化学量論比の酸化バナジウム薄膜に対して、パルス電圧印加に伴い100 nsオーダーの応答速度で抵抗値が2桁以上低下する電圧印加スイッチングについて論文発表し (K. Okimura and J. Sakai, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **46** (2007) L813.)、更に2009年にマルチステップスイッチングの挙動について報告するなどした (K. Okimura, *et. al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **48**, 065003 (2009))

VO_2 薄膜の電圧印加スイッチング現象は、電流-電圧(I-V)特性における負性抵抗領域を有するS字型のしきい値スイッチング特性を特徴とする。あるしきい値以上の電圧印加でIMTがトリガーされ VO_2 の金属化が生じることで負性抵抗領域が出現する。更に、2008年に韓国及び日本の研究グループより VO_2 プレーナ型素子において発振現象が報告された。(Y. W. Lee, *et. al.*, *Appl. Phys. Lett.* **92**, 162903 (2008), J. Sakai, *J. Appl. Phys.* **103**, 103708 (2008)) 直流電圧印加によって数百kHz帯の自励発振が生じる現象である。この発振現象は前述の負性抵抗を有するスイッチング現象に起因するものであり、動作電圧として10 ~ 15 V程度が報告された。この発振現象に関する研究報告はここ数年間増加しており、 VO_2 の電圧印加スイッチング現象の応用とメカニズム解明の観点から非常に大きな関心がもたれている

2. 研究の目的

導電層上へ成長した VO_2 薄膜を有する積層型素子を用いて、その面直方向への電圧印加スイッチングに基づく自励発振の実現及び特性測定に取り組む。本発振現象は電圧印加に対する負性抵抗域が動作の基本であることから、積層型素子における負性抵抗域を有するしきい値スイッチング特性の安定化が前提となる。したがって、急峻な界面を有する積層構造実現へ向けた低温 VO_2 結晶成長技術を高めることが課題となる。

本発振の励振には一旦低抵抗化した VO_2 が高抵抗へ戻る復元力が必要となるが、従来報告の示唆によれば薄膜の誘電性、即ち高抵抗相における電荷偏極が動作速度に影響すると考えられる。積層型構造における

VO_2 の誘電性に関する考察を進めることで高速発振への設計指針獲得が可能となる

申請者らによるTi及びTiN上へ成長した VO_2 薄膜では結晶粒界が非常に明瞭に見られ、積層方向へ高い抵抗値を示した。スパッタ法による低温成膜では結晶粒相互の粒界抵抗が非常に大きくなり、積層方向への電流の流れが支配的になる様相が示唆された。そのため面直方向に非常に低電圧・低電流(100 μA 以下)のスイッチングが実現できた。即ち、このような結晶粒の特性を有効に利用することによって、膜厚即ち結晶粒サイズ程度の非常に小さいスケールでの応答を調べることから VO_2 の本質的な電子機能性の発現が強く期待できるアプローチであり、この点において世界的にも特徴ある研究として位置づけられる。多様な基板に成膜可能な多結晶の特性を積極的に利用する点において、本研究の特色と独創性がある。本研究によって、積層型素子において0.1 Vオーダーの低電圧印加によるMHz帯発振特性が明らかになれば、非常に低消費電力のマイクロインバータ動作が実現できることになり、広範な工学的応用を切り拓ける可能性があり、本研究推進の意義は大きい。

3. 研究の方法

本研究では、導電層上への多結晶 VO_2 薄膜の成長、面直方向への電圧印加スイッチングに基づく直流電圧印加に対する発振現象の実現、発振特性の詳細な測定の三段階を順次進めた。まず、良好な結晶成長と急峻界面実現に注目しながら、電極間ギャップを決定する膜厚の異なる試料を作製した。負性抵抗域を有するしきい値スイッチング特性の安定化が鍵となる。本発振回路は電圧源と VO_2 素子及び直列抵抗から成る構成であり、電源電圧と抵抗値をパラメータとして発振特性を調べた。プレーナ型素子に関する先行研究では発振周波数は数百kHz以下であるが、本研究の積層型素子は本質的に狭ギャップ構造を有することからMHz帯の高周波発振を目指した。

平成27年度は導電層上に成長した VO_2 薄膜に対して面直方向の電圧印加スイッチング特性の取得と並行して発振現象の発現を目指した。本研究では下部電極に金属Ti及びTiN導電層(TiN/Ti)を用い、上部電極には先端径5~50 μm のプロローブを用いた。導電層上への成膜は申請者が進めてきた $250\sim 300^\circ\text{C}$ での低温成膜を導入し、急峻な VO_2 /導電層界面を形成した。また、膜厚をパラメータとして堆積を進めた。

次に、作製した積層型素子における面直方向電圧印加スイッチング特性に基づく発振現象の実現と回路パラメータ依存性を調べた。プレーナ素子に関する先行研究によりI-V特性における負性抵抗域が発振に必要な条件であり、負性抵抗域が現れたこと

から、回路素子パラメータを適切に選定することにより発振が得られた。

平成 28 年度以降は、前半において発振現象のパラメータ依存性を詳細に取得した。パラメータ依存性は 2 つの観点から調べた。一つは発振回路の印加電圧及び直列抵抗値をパラメータとするものであり作製された積層型素子の動作特性を明らかにするものである。二つ目は VO₂ の成長条件および導電層への依存性である。多結晶 VO₂ の結晶性、粒界の特性、及び界面の状態に注目して、これらが如何に面直方向へのスイッチングについては発振特性に影響するかを調べた。後半においては発振の機構解明及びその知見に基づく発振素子の設計への指針を得ることを目指した。本素子の発振には一旦低抵抗化した VO₂ が高抵抗へ戻る復元力が必要となるが、従来報告の示唆によれば薄膜の誘電性、即ち高抵抗相における電荷偏極が動作速度に影響すると考えられる。積層型構造における VO₂ の誘電性に関する測定及び考察を進めることで高速発振が可能になると考えた。

4. 研究成果

平成 27 年度は前年度の研究準備段階を経て、TiN 導電層上に堆積した VO₂ 薄膜に対して TiN を下部電極として VO₂ 薄膜上のプローバを上部電極とする積層型素子を形成し、面直方向への電圧印加スイッチング特性を調べた。その結果、250 程度の低温で VO₂ 薄膜を堆積することで 0.55 V、22 μ A 程度の低い電圧、電流での抵抗スイッチングを実現した。このような抵抗スイッチングが生じるとき、本素子に直列抵抗を接続し、直流電圧を印加することで、スイッチング前の高抵抗状態とスイッチング後の低抵抗状態が交互に繰り返される自励発振現象を実現した。従来、VO₂ 薄膜上面に設置した 1 対の金属電極間で生じる自励発振は数百 kHz オーダーの周波数であったのに対して、本素子では MHz オーダーの発振が得られた。即ち、発振時の時定数は 1 μ s 以下である。発振測定回路中の直列抵抗と電源電圧依存性を調べた後に、上部電極であるプローバの直径を変化させたところ、直径が小さくなると共に発振周波数が上昇し、2.5 MHz の周波数を得た。更に、プローブ接触圧のコントロールによって VO₂/TiN/Si 三相構造素子において 9.1 MHz の最高発振周波数を実現するに至った。これら MHz オーダーの発振周波数は VO₂ を用いた 2 端子素子の発振現象の報告例の中では最も高い値である。このように速い発振は VO₂ の膜厚が電極間距離に相当する積層型素子の特性を示すものである。即ち、電極間距離がプレーナ型の数 μ m に対して本積層型素子では 0.2~0.5 μ m 程度と狭くできる事と、接触面積が小さいプローバを上部電極として用いることで静電容量成分を小さくでき

ることから、高抵抗状態と低抵抗状態間の遷移速度を大幅に短縮できたものと考えられる。今年度に得られた成果は本研究で提案した相転移 VO₂ 薄膜を動作層とする積層型素子の低電圧抵抗スイッチングに基づくものであり、本素子の高速スイッチング素子への応用へ向けた大きな成果と位置づけられるものである。

平成 28 年度は、前年度に得られた VO₂/TiN/Si における 9.1 MHz の高周波発振の成果を踏まえて、より低電圧、低電流しきい値での安定発振と発振周波数の上昇を目指して研究を継続した。平成 27 年度の成果に基づいて、今後の推進方法として示した積層素子の良好な界面の実現と急峻な転移特性を示す VO₂ 薄膜の堆積を素子製作上の目標とした。その実現のために、結晶性に優れる TiN 薄膜堆積を外部委託して実施した。その結果、膜厚 200 nm、抵抗率 10⁻⁴ Ω cm 台前半の低抵抗率を有する TiN 膜が得られた。更に得られた TiN 薄膜は(111)配向を有する配向膜であった。本 TiN 配向膜上へ反応性マグネトロンスパッタ法で堆積した VO₂ 薄膜は(020)配向を有する b 軸配向膜であり、そのロッキング半値幅は約 3°程度であった。得られた b 軸配向を有する VO₂ 薄膜は 2.5 桁の抵抗値変化を有する絶縁体・金属転移を示し、この特性は前年度の無配向 VO₂ 薄膜に比べて良好なものであった。このようにして得られた VO₂/TiN/Ti/Si 積層構造に対して、TiN 層を下部電極、VO₂ 上のタングステン製探針(先端径: 25 μ m)を上部電極として電圧を印加した結果、1.3 V、200 μ A 程度のしきい値で電圧印加スイッチングを生じた。これらの値は、前年度のしきい値に比べて高いが、これは VO₂ 堆積温度が 300 と前年度に比べてやや高かったためと考えられた。更に、このスイッチングを生じる素子に対して直流電圧を印加した結果、プローバ探針の印加の圧力と印加電圧に応じて数 MHz から 10 MHz の幅広い範囲で発振周波数が得られた。新規な試みとして、プローバ探針の圧力評価に重量計を導入したことで、探針圧の定量的且つ再現性のある制御が可能となった。探針圧を制御することでマルチステップ発振が得られ、更に電源電圧調整によってマルチ発振のモード分離による高周波化を実現できた。

研究最終年度となる平成 29 年度は、前年度に得られた(111)配向 TiN 結晶層上に成長させた VO₂ 薄膜において、低電圧でのスイッチング及びプローバ探針圧調整によって 10 MHz の高周波発振が得られた成果を基に、更なる進展を目指した。まず、配向 TiN(111)上へ平成 28 年度よりも低温の 250 で成長させた VO₂ 薄膜では、VO₂/TiN の界面が非常に急峻であり相互拡散が生じていないことが判明した。この VO₂/TiN/Ti/Si 積層素子に対して電圧印加ス

スイッチング現象を調べ、次に発振特性を調べた。その結果、1.6 Vの低電圧においてVO₂薄膜のIMTに伴うしきい値スイッチングが生じた。また、導電性TiN層上とVO₂薄膜上にプローバ探針を当てて直流電圧を印加することで発振現象を発現させた。VO₂薄膜上のプローバ探針圧を5~150 MPaと変化させた結果、5 MPaでは9 MHzの発振周波数であるのに対して、60 MPa時には15 MHzの世界最高発振周波数を得た。更にプローバ圧を増加させると周波数は1.4 MHzと低下した。この時の発振波形は静電容量を含む回路の充電特性を反映しており、VO₂薄膜における従来型の発振であった。以上の結果より、VO₂側のプローバ圧が高い時は温度上昇に伴うIMTループ内で発振が生じ、絶縁相における電荷蓄積時間が発振を律速するのに対して、プローバ圧を弱めに調整すると金属的な状態に近い2状態間で発振が生じることが示唆された。VO₂の構造転移において金属状態に近い中間状態の存在が報告されており、本発振モードは中間状態を経由している可能性がある。中間状態を経由する発振は構造転移を伴わないため、構造安定な発振素子の実現にとって重要な成果を得たと考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計13件)

1. Tomohiro Aoto, Kenta Sato, Md. Suruz Mian, and Kunio Okimura, Impact of (111)-oriented TiN conductive layers for the growth of vanadium dioxide films and the effect of grain boundary diffusions, *J. Alloys and Compounds*, 査読有, Vol. **748**, pp. 87-92 (6pages) (2018).
2. Kenta Sato, Hiroaki Hoshino, Md. Suruz Mian, and Kunio Okimura, Low-temperature growth of VO₂ films on transparent ZnO/glass and Al-doped ZnO/glass and their optical transition properties, *Thin Solid Films*, 査読有, Vol. **651**, pp. 91-96 (6pages) (2018).
3. Nurul Hanis Azhan, Kunio Okimura, Kouhei Matsuoka, Mustapha Zaghrioui, and Joe Sakai, Recrystallization of VO₂ films into (011)-oriented micrometer-sized grains on Al₂O₃ (001) in biased reactive sputtering, *J. Vac. Sci. Technol. A*, 査読有, Vol. **35**, 061508 (8pages) (2017).
4. Md. Suruz Mian, Kunio Okimura, and Masao Kohzaki, Comparative study of TiN and TiN/Ti as bottom electrodes for layered type devices with phase transition VO₂ films, *Thin Solid Films*, 査読有, Vol. **636**, pp. 63-69 (2017).
5. Yuuki Ishii, Tetsuya Kaneko, Kunio Okimura, Haruo Shindo, and Masao Isomura, Fabrication of amorphous silicon nitride thin films by radio-frequency sputtering assisted by an inductively coupled plasma, *Thin Solid Films*, 査読有, Vol. **624**, pp. 49-53 (2017).
6. Yosuke Nakata, Yoshiro Urade, Kunio Okimura, Toshihiro Nakanishi, Fumiaki Miyamaru, Mitsuo Wada Takeda, and Masao Kitano, Anisotropic Babinet-Invertible Metasurfaces to Realize Transmission-Reflection Switching for Orthogonal Polarizations of Light, *Phys. Rev. Applied*, 査読有, Vol. **6**, 044022 (7pages) (2016).
7. Kui Su, Takuya Naka, Nurul Hanis Azhan, Kunio Okimura, and Masashi Higuchi, Oriented Growth of VO₂(B) Thin Films on Mo Foils by Reactive Sputtering for Lithium Ion Batteries, *Thin Solid Films*, Vol. **616**, pp. 95-100 (2016).
8. Yoshiro Urade, Yosuke Nakata, Kunio Okimura, Toshihiro Nakanishi, Fumiaki Miyamaru, Mitsuo Wada Takeda and Masao Kitano, Dynamically Babinet-invertible metasurface: A capacitive-inductive reconfigurable filter for terahertz waves using vanadium-dioxide metal-insulator transition, *Optics Express*, 査読有, Vol. **24**, 4405-4410 (#256448, 6pages) 2016.
9. Nurul Hanis Azhan, Kunio Okimura, Yoshiyuki Ohtsubo, Shin-ichi Kimura, Mustapha Zaghrioui, and Joe Sakai, Large modification in insulator-metal transition of VO₂ films grown on Al₂O₃ (001) by high energy ion irradiation in biased reactive sputtering, *J. Appl. Phys.* 査読有, Vol. **119**, 055308 (7pages) (2016).
10. Mustapha Zaghrioui, Joe Sakai, Nurul Hanis Azhan, Kui Su, and Kunio Okimura, Polarized Raman scattering of large crystalline domains in VO₂ films on sapphire, *Vib. Spectrosc.* 査読有, **80**, 79 (2015).
11. Nurul Hanis Azhan, Kui Su, Kunio Okimura, Mustapha Zaghrioui, and Joe Sakai, Appearance of large crystalline domains in VO₂ films grown on sapphire (001) and their phase transition characteristics, *J. Appl. Phys.* 査読有, Vol. **117**, 245314 (2015).
12. Md. Suruz Mian, Kunio Okimura, and Joe Sakai, Self-oscillation up to 9 MHz based on voltage triggered switching in VO₂/TiN point contact junctions, *J. Appl. Phys.* 査読有, Vol. **117**, 215305 (5pages) (2015).
13. Nurul Hanis Azhan, Kui Su, Kunio Okimura, and Joe Sakai, Radio frequency substrate biasing effects on the insulator-metal transition behavior of reactively sputtered VO₂ films on sapphire (001), *J. Appl. Phys.* 査読有, Vol. **117**, 185307 (6pages) (2015).

〔学会発表〕(計26件)

1. 戸部龍太, 青戸智寛, 北川陽介, 間宮圭亮,

- 沖村邦雄: TiN 導電層上 VO₂ 薄膜における自励発振特性の電極探針荷重依存性, 第 65 回応用物理学会春季学術講演会予稿集, 19p-P5-4 (2018), (早稲田大学・西早稲田キャンパス).
2. 青戸智寛, 沖村邦雄: TiN(111)配向基板の導入による相転移 VO₂ 薄膜の配向成長と粒界拡散効果, 第 65 回応用物理学会春季学術講演会予稿集, 19p-P5-5 (2018), (早稲田大学・西早稲田キャンパス).
 3. 松岡耕平, 沖村邦雄: Al₂O₃(001)基板上(011)配向 VO₂ 薄膜の成長と M2 相を經由する構造相転移, 第 65 回応用物理学会春季学術講演会予稿集, 20a-C103-4 (2018), (早稲田大学・西早稲田キャンパス).
 4. 青戸智寛, 沖村邦雄: 相転移 VO₂ における金属の状態間を遷移する発振現象, 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会予稿集, 8p-PA1-3 (2017, 9, 5-8) (福岡国際会議場・福岡).
 5. 松岡耕平, ヌルーハニス アズハン, 沖村邦雄: 基板バイアス印加スパッタ法を用いた VO₂ 薄膜の再結晶化に関する研究, 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会予稿集, 8a-PA2-3 (2017, 9, 5-8) (福岡国際会議場・福岡).
 6. 青戸智寛, 沖村邦雄: 細線状 TiN 電極上への VO₂ 薄膜の堆積と面直方向絶縁体 - 金属転移特性, 第 37 回表面科学学術講演会・第 58 回真空に関する連合講演会(真空・表面合同講演会 2017), 1P03 (2017, 8, 17-19) (横浜市立大学).
 7. 松岡耕平, 沖村邦雄: 高周波基板バイアス印加スパッタ法における VO₂ 薄膜成長へのイオン照射効果, 第 37 回表面科学学術講演会・第 58 回真空に関する連合講演会(真空・表面合同講演会 2017), 1P04V (2017, 8, 17-19) (横浜市立大学).
 8. 青戸智寛, 佐藤賢太, モハメッド シュルズミヤ, 沖村邦雄: VO₂/TiN/Ti/Si 積層構造デバイスにおけるマルチステップ発振, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会予稿集, 15p-P3-13 (2017), (パシフィコ横浜).
 9. Tomohiro Aoto, Kenta Sato, Md. Suruz Mian, Kunio Okimura: Self-oscillation characteristics of oriented VO₂ films on conductive TiN/Ti layers, International Union of Materials Research Societies - The 15th International Conference on Advanced Materials (IUMRS-ICAM 2017), B2-P30-021, Kyoto University, Kyoto, Japan, Aug.28-Sep.1, 2017.
 10. Nurul Hanis Azhan, Kunio Okimura, Kohei Matsuoka, Mustapha Zaghrioui, Joe Sakai: Ion-assisted recrystallization phenomena and the growth of μm-sized grains of VO₂ films in biased sputtering, International Union of Materials Research Societies - The 15th International Conference on Advanced Materials (IUMRS-ICAM 2017), B5-P31-016, Kyoto Univ., Kyoto, Japan, Aug.28-Sep.1, 2017.
 11. T. Aoto, K. Sato, M.S. Mian, and K. Okimura: Oriented growth of VO₂ thin films on conductive TiN/Ti layers and their self-oscillations phenomena, Proceedings of The 14th International Symposium on Sputtering & Plasma Processes (ISSP 2017), TF2-15p, Kanazawa, Japan, July 5-7, 2017.
 12. 青戸智寛, 田邊祐大, 中村拓也, 佐藤賢太, モハメッド シュルズミヤ, 沖村邦雄: 導電性 TiN 層上への相転移 VO₂ 薄膜の配向成長と転移特性評価, 第 36 回表面科学学術講演会・第 57 回真空に関する連合講演会(真空・表面合同講演会 2016), 1PA21V (2016, 11, 29) (名古屋国際会議場).
 13. 沖村邦雄, ヌルーハニス アズハン, モハメッド シュルズミヤ, 佐藤賢太, 譲原一樹: 反応性スパッタ法による酸化物薄膜堆積における高周波基板バイアスの効果, 第 36 回表面科学学術講演会・第 57 回真空に関する連合講演会(真空・表面合同講演会 2016), 2Cp06 (2016, 11, 30) (名古屋国際会議場).
 14. モハメッド シュルズミヤ, 佐藤賢太, 按田祐輔, 椎名庸介, 沖村邦雄: 導電性 ITO 層上に成長した M2 相 VO₂ 薄膜の IMT 特性及び自励発振特性, 第 63 回応用物理学会春季学術講演会予稿集, 22a-P4-14, p04-310 (2016), (東京工業大学大岡山キャンパス).
 15. ヌルーハニス アズハン, 沖村邦雄, 大坪嘉之, 木村真一, ムスターファ ザグリウィ, 坂井 穰: 高周波基板バイアススパッタ法における高エネルギーイオン照射による VO₂ 薄膜の転移特性制御, 第 63 回応用物理学会春季学術講演会予稿集, 19p-H111-1, p04-048 (2016), (東京工業大学大岡山キャンパス).
 16. Nurul Hanis Azhan, Kunio Okimura, Mustapha Zaghrioui, and Joe Sakai: Characteristic μm-sized VO₂ domains grown on Al₂O₃ (001) deposited under particular substrate biasing conditions, The 18th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy (ICCGE18), Nagoya, Japan, August 2016.
 17. モハメッド シュルズミヤ, 沖村邦雄, 坂井穰: VO₂/Ti/Si 点接触積層型デバイスにおける自励発振現象のパラメータ依存性, 第 76 回応用物理学会秋季学術講演会予稿集, 14p-PA13-7, p05-176 (2015), (名古屋国際会議場).
 18. ヌルーハニス アズハン, 沖村邦雄, ムスターファ ザグリウィ, 坂井穰: バイアススパッタ法による Al₂O₃(001)基板上への巨大ドメイン VO₂ 薄膜の成長と転移特性, 第 76 回応用物理学会秋季学術講演会予稿集, 14p-PA13-8, p05-177 (2015), (名古屋国際会議場).
 19. ヌルーハニス アズハン, 沖村邦雄, 蘇魁, ムスターファ ザグリウィ, 坂井 穰: バ

- イアスパッタ法による VO₂/Al₂O₃(001)の転移特性制御と特異成長モードの発現, 第62 回応用物理学会春季学術講演会予稿集, 13p-D10-6, p05-293 (2015),(東海大学湘南キャンパス).
20. モハメッド シュルズミヤ, 沖村邦雄, 坂井穰: VO₂/TiN/Si 積層構造デバイスにおける MHz 帯発振, 第 62 回応用物理学会春季学術講演会予稿集, 13p-D10-7, p05-294 (2015), (東海大学湘南キャンパス).
21. Nurul Hanis Azhan, Kunio Okimura, Mustapha Zaghrioui, and Joe Sakai: Crystalline growth and transition characteristics of sputtered VO₂ on Al₂O₃ (001) substrates via rf substrate biasing, 14th International Union of Materials Research Societies – International Conference on Advanced Materials (IUMRS-ICAM), II-4ThP-65, Jeju, Korea, October 25-29, 2015.
22. Md. Suruz Mian, Kunio Okimura and Joe Sakai: Voltage induced electrical oscillation in VO₂-based layered structure device, 14th International Union of Materials Research Societies – International Conference on Advanced Materials (IUMRS-ICAM), II-4ThP-76, Jeju, Korea, October 25-29, 2015.
23. Kunio Okimura, Nurul Hanis Azhan, Kui Su, and Joe Sakai: Effects of radio frequency substrate biasing on insulator-metal transition properties of VO₂ films grown on Al₂O₃ (001) in reactive sputtering, 14th International Union of Materials Research Societies – International Conference on Advanced Materials (IUMRS-ICAM), Invited talk, (II-4Tu3A2-3(IS), Jeju, Korea, October 25-29, 2015.
24. Md. Suruz Mian and Kunio Okimura: High frequency self-oscillations in VO₂ based out-of-plane device structure, 13th International Symposium on Sputtering & Plasma Process, MN3-8p, Kyoto, Japan, July 8-10, 2015. Proceedings of ISSP 2015, pp.436-439.
25. Nurul Hanis Azhan, Kui Su, Kunio Okimura, Mustapha Zaghrioui, and Joe Sakai: Appearance of large crystalline domains in VO₂ films on Al₂O₃ (001) substrates by rf biased sputtering and its effect on the phase transition properties, 13th International Symposium on Sputtering & Plasma Process, SP3-5p, Kyoto, Japan, July 8-10, 2015. Proceedings of ISSP 2015, pp.345-348.
26. Md. Suruz Mian and Kunio Okimura: Dependence of out-of-plane insulator-metal transition characteristics of VO₂ films on bottom electrode in layered structure device, 7th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials/ 8th International Conference on Plasma-Nano Technology &

Science (ISPlasma 2015/IC-PLANTS 2015), Nagoya University, Nagoya, Japan, D3-P-14 (March 26-31, 2015).

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

名称:
 発明者:
 権利者:
 種類:
 番号:
 出願年月日:
 国内外の別:

○取得状況(計 0 件)

名称:
 発明者:
 権利者:
 種類:
 番号:
 取得年月日:
 国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等
 沖村研究室ホームページ
<http://www.ei.u-tokai.ac.jp/Okimura-lab/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

東海大学・工学部・教授
 沖村邦雄 (OKIMURA Kunio)
 研究者番号: 00194473

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

モハメッド シュルズミヤ
 (MD. SURUZ MIAN)
 (博士課程大学院生)
 ヌルーハニス アズハン
 (NURUL HANIS AZHAN)
 (博士課程大学院生)
 修士課程大学院生 6 名