

令和 2 年 6 月 22 日現在

機関番号：34316

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K06733

研究課題名(和文)新規レアメタルフリー酸化物半導体を用いた機能性デバイス開発のための格子欠陥評価

研究課題名(英文)Development of Rare-metal-free Ga-Sn-O electron devices with defect evaluation

研究代表者

松田 時宜 (Matsuda, Tokiyoshi)

龍谷大学・公私立大学の部局等・研究員

研究者番号：30389209

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)：本研究の目的は、Ga-Sn-O(GTO)を中心とする新しい酸化物半導体材料を薄膜トランジスタ(TFT)などのデバイスに応用し、従来材料の安定性や資源の安定供給に対する課題を解決することにある。GTO TFTは、電界効果移動度及びオン電流が高く、オフ電流は低く、ドレイン電流の飽和特性が安定していることが明らかになった。さらに、GTO TFTのストレス耐性は良好であり、他の酸化物半導体TFTでも課題となるNBIS耐性も良好であった。GTO薄膜は、TFTのチャネル層として有望なだけでなく熱電デバイス、抵抗変化型メモリー、メモリスタなどの新たなデバイス用材料としての応用展開も期待できるものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得られたGTO TFTは各種ストレス耐性を含む電気的特性が良好であり、他の酸化物半導体TFTでも課題となるNBIS試験に対して安定性が高かった。これらの要因は、Sn⁴⁺の電子構造がIn³⁺と同じ状態を取ること、また二価のアモルファスSnOはp型伝導を示し、四価のSnO₂はn型伝導を示すため、特性シフトの原因となる余剰電子あるいはホールを局所的な構造を乱すことなく、価数の変化を行うことによって補償する働きすることにより安定性を向上させることに寄与しているためであると考えられ、学術的に今後広がりをもたらすものであると考える。したがって、学術的にも社会的にも意義深い成果が得られたと考える。

研究成果の概要(英文)：Rare-metal-free Ga-Sn-O (GTO) devices were developed for thin-film transistor (TFT), thermoelectric device, and ReRAM. High-performance and stable GTO TFTs were demonstrated for the first time without the use of rare metals such as In for next generation devices of displays and flexible electronics. A high field effect mobility of 25.6 cm²/Vs was achieved, because the orbital structure of Sn was similar to that of In. The stability of the GTO TFTs was examined under bias, temperature, and light illumination conditions. The electrical behavior of the GTO TFTs was more stable than that of In-Ga-Zn-O (IGZO) TFTs, which was attributed to the elimination of weak Zn-O bonds. GTO film would be the hopeful material for active layer of novel oxide devices.

研究分野：酸化物半導体

キーワード：酸化物半導体 薄膜トランジスタ レアメタル 熱電素子 フレキシブルデバイス

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ZnO や InGaZnO₄ (IGZO)を始めとした酸化物半導体材料が新しく薄膜トランジスタの活性層として見いだされ、実用化されて久しい^{1,2}。RF マグネトロンスパッタリング法によってガラス基板に形成される ZnO や InGaZnO₄ (IGZO) は、薄膜トランジスタ (TFT) の活性層として従来利用されている非晶質シリコン材料に対し、電流量(電界効果移動度)と特性の安定性(駆動条件での劣化特性)の両面で、10 倍以上良好な電気的特性を示す。そのため、新規デバイス応用への研究開発が進んでいる^{1,2}。酸化物半導体として代表的なアモルファス IGZO 薄膜トランジスタ(a-IGZO TFT)は、電界効果移動度が高い要因として、IGZO が非晶質であっても、In イオンの 5s 軌道が大きく広がっている事があげられている。

IGZO の課題としては以下の二点があげられる。図 1(a)に酸化物半導体材料中の金属元素についての地殻含有率を示す。これによると、インジウムはレアメタルであり、産出量が少ない。そのため産出国が極めて限られており、材料の量的、経済的な安定供給に課題がある。また数年前に化合物が労働安全衛生法・特定化学物質障害予防規則等において特定化学物質に指定されたように、取り扱いに際する安全性について一定の配慮を要する。第二に、TFT 特性としては光照射下における負バイアス試験(NBIS)に対する特性の不安定性が課題となっている。

このような状況の中で、研究代表者は、図 1(b)に示すように非晶質なレアメタルフリー酸化物材料(Ga_xSn_{1-x}O (GTO))を薄膜トランジスタの活性層を担う半導体として見出した。この材料は、酸化物半導体として代表的であり、かつ研究代表者も格子欠陥について先駆的な研究を行っている InGaZnO₄ (IGZO)に近い電界効果移動度³⁻⁵、熱電能を持つことが明らかになってきた⁶。

2. 研究の目的

本研究の目的は、GTO を中心とする新しい酸化物半導体材料をデバイスに応用し、従来材料の安定性や資源の安定供給に対する課題を解決することにある。そのため、GTO TFT などのデバイスを詳細に評価し、その特性の要因となる材料物性との相関を明らかにする。また、今回発見された GTO 材料を様々なデバイスへと応用し、新しいデバイス群を形成することを目的とする。

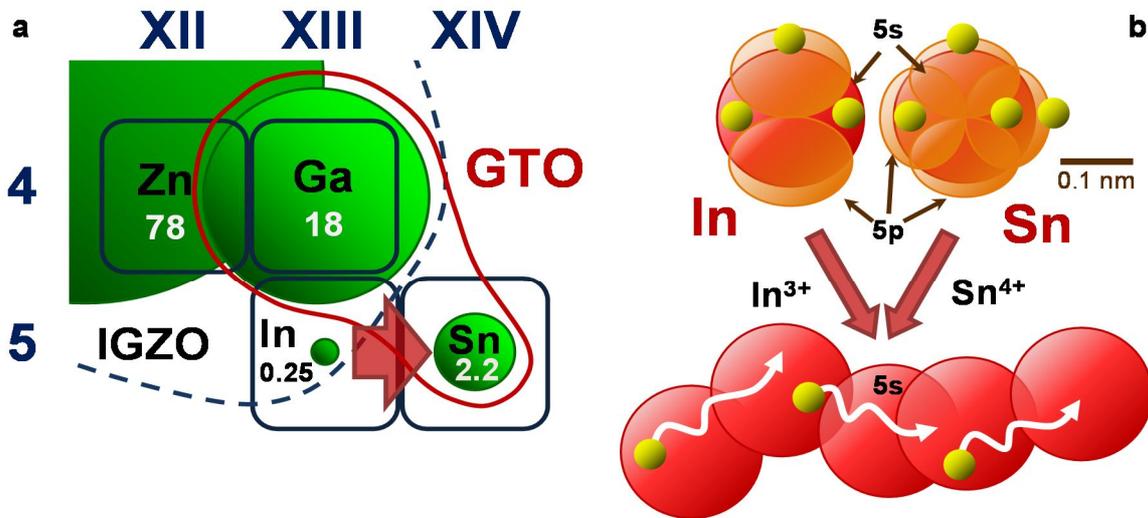


図 1 GTO TFT の a) 各構成元素の地殻含有率及び b) In 及び Sn イオンの電子軌道モデル^{3,4}。

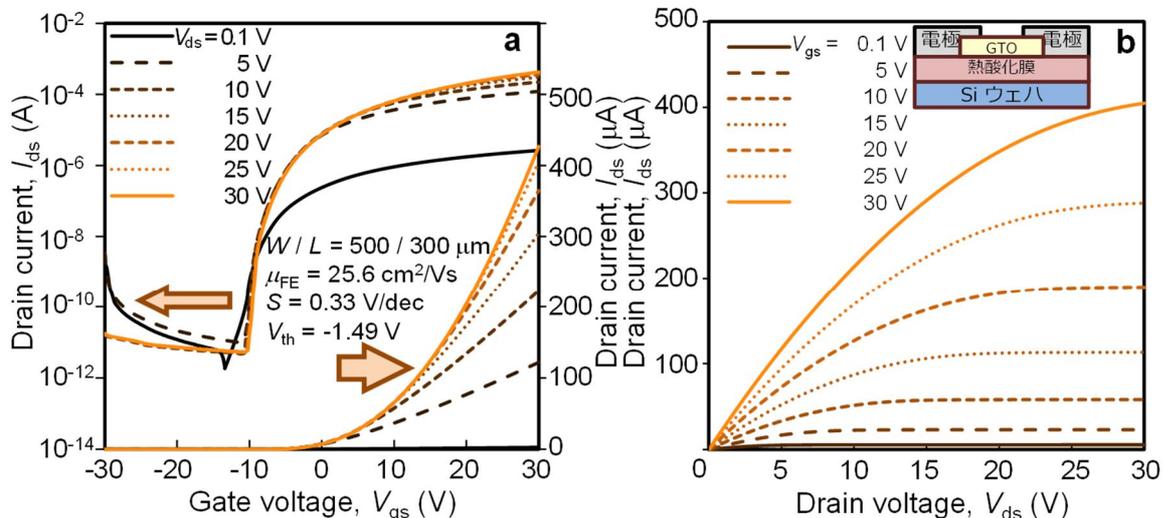


図 2 GTO TFT の a)伝達特性と b)出力特性^{3,4}。

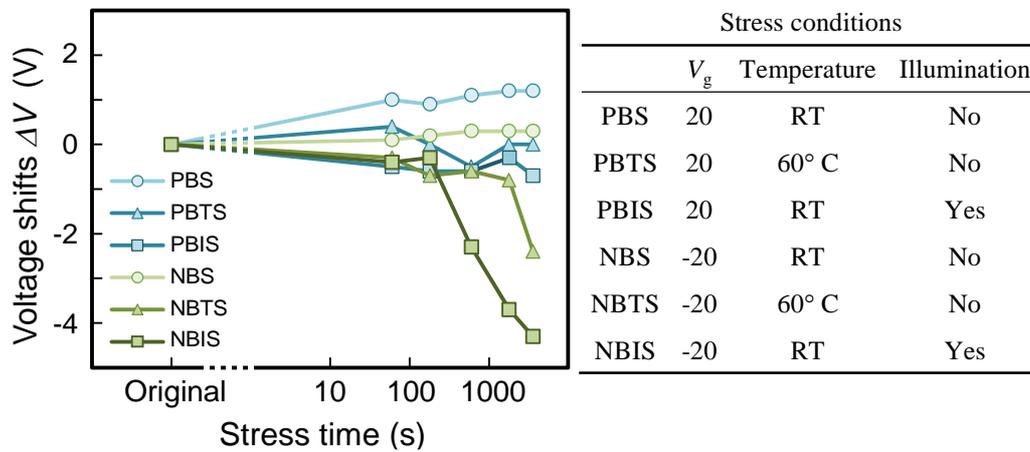


図3 GTO TFT の各ストレス試験に対する特性変化^{3,4}。

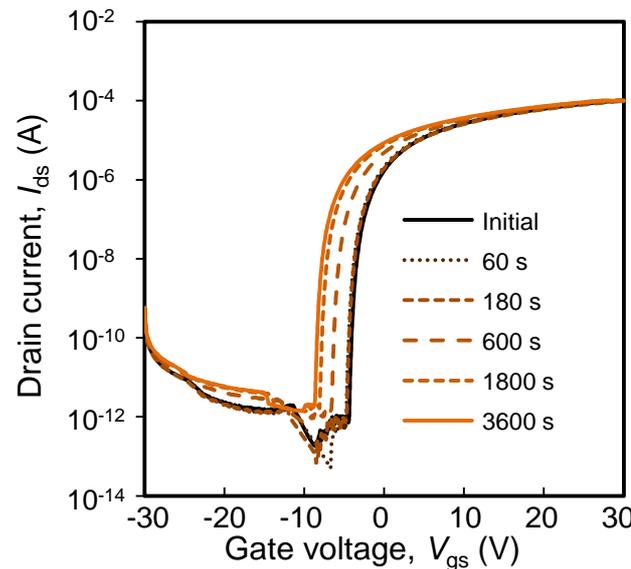


図4 GTO TFT 特性のNBIS 依存性^{3,4}。

3. 研究の方法

RF マグネトロンスパッタリング法によって GTO 薄膜を形成することによってデバイス形成を行った。薄膜トランジスタの場合は低抵抗 Si ウェハに対して 150nm のゲート絶縁膜として熱酸化膜が形成されている。これに対して GTO 薄膜を RF マグネトロンスパッタリング法によって成膜した。スパッタリングターゲットは、焼結セラミックターゲット(99.99%、Ga:Sn = 1:3 (原子比))であり、雰囲気ガスとして Ar / O₂ = 20 / 1 sccm、成膜時圧力 0.66 Pa、投入 RF 電力 60 W、基板温度を 150 とした。その後 Ti および Au を熱蒸着により成膜しソース・ドレイン電極を形成し、ポストアニールを 350 で 1 時間行った。

GTO 材料そのものの評価を行うため、デバイス作製プロセスには、GTO 薄膜に直接的に触れて影響を及ぼす可能性の高いフォトレジスト、また表面の状態を変化させてしまう恐れのあるプラズマを用いなくてもパターン形成できるメタルマスクを用いた。また同様の目的のため保護膜を形成せずにデバイスの電気的特性の測定を行った。

4. 研究成果

本研究において得られた GTO 薄膜は IGZO と同様に可視光において透明であり、XRD パターンもピークを持たないため、非晶質である。

図2に示すように TFT 特性としては -30 V のゲート電圧において 1×10^{-10} A 程度の $W=500 \mu\text{m}$ のデバイスとしては低いオフ電流、急峻な閾値領域、30V のゲート電圧においては 10^{-4} A 程度の高いオン電流が実現できた。

TFT 特性は式 $I_{ds} = \mu_{FE} c_i (W/L)(V_{gs} - V_{th})V_{ds}$ より求めることができる。ここで、 c_i は単位面積あたりの静電容量 (F/cm^2) であり、 W/L はチャネルの幅及び長さの比、 V_{gs} はゲート・ソース間電圧、 V_{ds} はドレイン・ソース電圧、 V_{th} はしきい値電圧を示す。これらにより、電界効果移動度は $25.6 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ を記録した。したがって GTO TFT はインジウムを含まないにもかかわらず良好な特性を示すことが明らかになった。

図3に GTO TFT のストレス試験結果を示す。ストレス試験の条件は表に示されているように、 ± 20 V の電圧負荷試験(PBS、NBS)、60度の温度での ± 20 V の電圧負荷試験(PBTS、NBTS)、

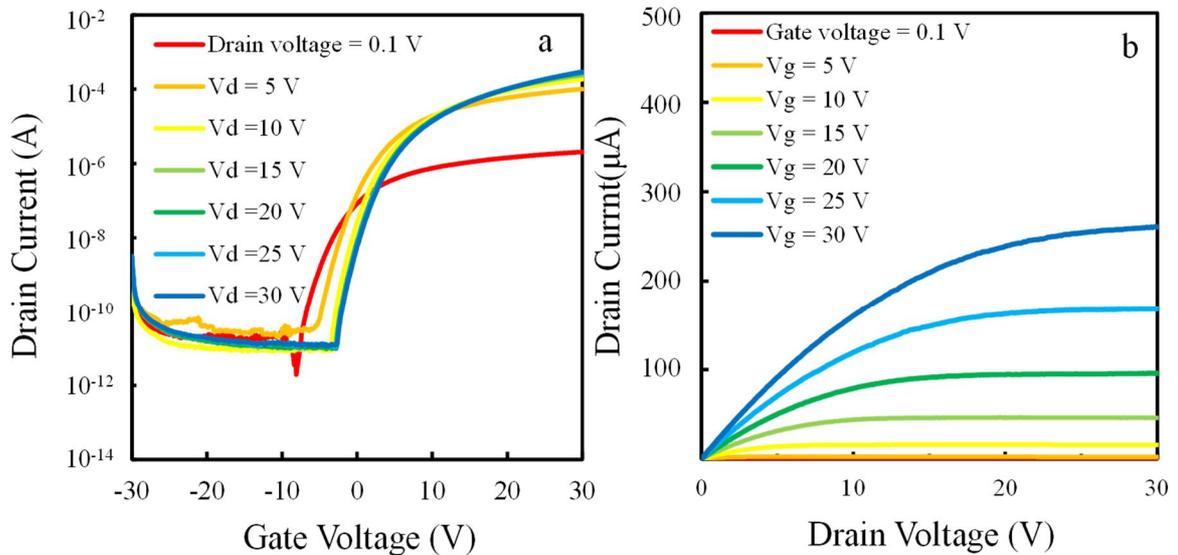


図 5 200 °C で形成した GTO TFT の a) 伝達特性と b) 出力特性^{4,5}。

光照射下での ± 20 V の電圧負荷試験を行った(PBIS、NBIS)。図 3 に示すように、GTO TFT は正の電圧負荷試験において特性シフト量は 2V 以下と非常に安定性が高いことが明らかになった。また負のゲート電圧負荷をかけた場合の特性シフト量は電圧のみの場合は -1 V、高温では -3 V、NBIS による特性シフトは -4.5 V であった。

図 5 に示すように、NBIS 試験における GTO TFT の特性シフトは、ゲート電圧に対してほぼ平行なシフトであり、閾値下特性の劣化はほとんど認められなかった。したがって、NBIS によって立ち上がり特性が大幅に劣化するということはなく、限定的であった。

以上の結果より、GTO TFT は高い電界効果移動度であり、酸化物半導体 TFT の課題である、NBIS 安定性において保護膜を形成しない状態でも十分に期待できるものであることが明らかになった。

一方、GTO が NBIS による特性シフトを抑制することに関しては、Ga の酸素との強い結合および Sn の二価と四価の両方の価数をとる性質によるものであると考えられる。

即ち二価のアモルファス SnO は p 型伝導を示し、四価の SnO₂ は n 型伝導を示すため、特性シフトの原因となるような余剰電子あるいは余剰ホールを局所的な構造を乱すことなく、価数の変化を行うことによって補償する働きをすることにより安定性を向上させることに寄与していると考えられる。

GTO TFT の低温形成

これらの結果を受けて、GTO TFT の低温形成を試みた^{4,5}。図 5 に、最高プロセス温度 200 °C において形成した GTO TFT の a) 伝達特性及び b) 出力特性を示す。TFT 作製条件は、Ga-Sn-O 薄膜を形成する条件を 60W、0.66Pa、Ar/O₂ = 20/1 sccm、基板温度 150 °C とし、金電極を形成した後、熱処理を大気中で 200 °C にて行った。

低温にて形成された GTO TFT のオフ電流はドレイン電圧 0.1 ~ 30V、ゲート電圧 -10V 付近において 1×10^{-11} A 程度、オン電流はドレイン電圧 30 V、ゲート電圧 30 V において 1×10^{-4} A 以上となりオンオフ比は 7 桁と十分な値となった。また電界効果移動度は $13.8 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ であった。ゆえに、昨今開発が盛んに行われているポリイミドなどの低耐熱温度の基板に GTO TFT を形成することができる。

これらの結果より、GTO 薄膜は新しい酸化物半導体であり、可視光で透明、非晶質、RF マグネトロンスパッタリング法により形成できること、プロセス温度が 200 °C と低温でも高移動度な TFT が作製できることなどの、従来提案されてきた酸化物半導体の特長を持ち、さらに、レアメタルであるインジウムを含まない、NBIS 安定性に優れているという新たな特長をもつことが明らかになった。

GTO 薄膜はさらなる高移動度化、保護膜の形成などによる TFT 自体の高性能化に加えて⁷、新しい応用先としては熱電デバイス⁶、抵抗変化型メモリー、メモリスタ⁷⁻¹⁰ などへの応用が図られており、今後の応用展開が期待できるものである。

GTO TFT は、インジウムを含まないにもかかわらず電界効果移動度が高く、オフ電流は低く、オン電流は高いという非常に良好な特性を示す。またドレイン電流の飽和特性は非常に安定していることが明らかになった。GTO TFT のストレス耐性はバックチャネル側の保護膜がない状態でも良好であり、他の酸化物半導体 TFT でも課題となる NBIS 耐性も良好であった。GTO TFT は最高プロセス温度 200 °C でも形成でき、フレキシブルデバイスの材料としても有望である。GTO 薄膜は、TFT のチャネル層として有望なだけでなく熱電デバイス、抵抗変化型メモリー、メモリスタなどの新たなデバイス用材料としての応用展開も期待できるものである。

引用文献

- [1] Y. Ohya, T. Niwa, T. Ban, and Y. Takahashi, "Thin film transistor of ZnO fabricated by chemical solution deposition," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol.40, no. 1R, pp.297–298, 2001.
- [2] K. Nomura, H. Ohta, A. Takagi, T. Kamiya, M. Hirano, and H. Hosono, "Room-temperature fabrication of transparent flexible thin-film transistors using amorphous oxide semiconductors.," *Nature*, vol.432, no. 7016, pp.488–492, 2004
- [3] T. Matsuda, K. Umeda, Y. Kato, D. Nishimoto, M. Furuta, and M. Kimura, "Rare-metal-free high-performance Ga-Sn-O thin film transistor," *Sci. Rep.*, vol.7, p.44326, 2017.
- [4] 松田 時宜, 梅田 鉄馬, 加藤 雄太, 西本 大貴, 杉崎 澄生, 古田 守, 木村 睦, "レアメタルフリー-Ga-Sn-O 材料の薄膜トランジスタへの応用," *電子情報通信学会論文誌 C* vol. J102-C, no. 11, pp.305-311, 2019.
- [5] T. Matsuda, R. Takagi, K. Umeda, M. Kimura, "Room-temperature fabrication of a Ga-Sn-O thin-film transistor." *Sol. Stat. Electr.* vol. 134, pp. 19-21, 2017.
- [6] T. Matsuda, M. Uenuma, and M. Kimura, "Thermoelectric effects of amorphous Ga-Sn-O thin film," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol.56, no. 7, 070309, 2017.
- [7] S. Sugisaki, T. Matsuda, M. Uenuma, T. Nabatame, Y. Nakashima, T. Imai, Y. Magari, D. Koretomo, M. Furuta, and M. Kimura, "Memristive characteristic of an amorphous Ga-Sn-O thin-film device," *Sci. Rep.*, vol. 9, no. 1, .2757, 2019.
- [8] K Imanishi, T Matsuda, M Kimura, "Analysis of Carrier Mobility in Amorphous Metal-Oxide Semiconductor Thin-Film Transistor using Hall Effect", *IEEE Electron Device Letters*, To be published
- [9] Y Takishita, M Kobayashi, K Hattori, T Matsuda, S Sugisaki, Y Nakashima, "Memristor property of an amorphous Sn-Ga-O thin-film device deposited using mist chemical-vapor-deposition method", *AIP Advances* vol. 10 no. 3, 035112, 2019
- [10] Kimura Mutsumi, Umeda Kenta, Ikushima Keisuke, Hori Toshimasa, Tanaka Ryo, Shimura Junpei, Kondo Atsushi, Tsuno Takumi, Sugisaki Sumio, Kurasaki Ayata, Hashimoto Kaito, Matsuda Tokiyoshi, Kameda Tomoya, Nakashima Yasuhiko, "Neuromorphic System with Crosspoint-Type Amorphous Ga-Sn-O Thin-Film Devices as Self-Plastic Synapse Elements", *ECS Transactions*, vol. 90, 2019.

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 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 松田 時宜, 梅田 鉄馬, 加藤 雄太, 西本 大貴, 杉崎 澄生, 古田 守, 木村 睦	4. 巻 J102-C
2. 論文標題 レアメタルフリー Ga-Sn-O 材料の薄膜トランジスタへの応用	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌	6. 最初と最後の頁 305-311
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Takishita Yuta, Kobayashi Masaki, Hattori Kazuki, Matsuda Tokiyoshi, Sugisaki Sumio, Nakashima Yasuhiko, Kimura Mutsumi	4. 巻 10
2. 論文標題 Memristor property of an amorphous Sn-Ga-O thin-film device deposited using mist chemical-vapor-deposition method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 035112 ~ 035112
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5143294	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 Ayata Kurasaki, Ryo Tanaka, Sumio Sugisaki, Tokiyoshi Matsuda, Daichi Koretomo, Yusaku Magari, Mamoru Furuta, Mutsumi Kimura	4. 巻 12
2. 論文標題 Memristive Characteristic of an Amorphous Ga-Sn-O Thin-Film Device with Double Layers of Different Oxygen Density	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materials	6. 最初と最後の頁 3236 ~ 3236
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ma12193236	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 Sugisaki Sumio, Matsuda Tokiyoshi, Uenuma Mutsunori, Nabatame Toshihide, Nakashima Yasuhiko, Imai Takahito, Magari Yusaku, Koretomo Daichi, Furuta Mamoru, Kimura Mutsumi	4. 巻 9
2. 論文標題 Memristive characteristic of an amorphous Ga-Sn-O thin-film device	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 2757
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-39549-9	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 Kimura Mutsumi, Umeda Kenta, Ikushima Keisuke, Hori Toshimasa, Tanaka Ryo, Shimura Junpei, Kondo Atsushi, Tsuno Takumi, Sugisaki Sumio, Kurasaki Ayata, Hashimoto Kaito, Matsuda Tokiyoshi, Kameda Tomoya, Nakashima Yasuhiko	4. 巻 90
2. 論文標題 Neuromorphic System with Crosspoint-Type Amorphous Ga-Sn-O Thin-Film Devices as Self-Plastic Synapse Elements	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ECS Transactions	6. 最初と最後の頁 157 ~ 166
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/09001.0157ecst	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. Kimura, T. Kamiya, T. Matsuda, K. Umeda, A. Fukawa, and Y. Nakashima	4. 巻 49
2. 論文標題 Research and Applications of Amorphous Metal-Oxide Semiconductor Devices - In-Ga-Zn-O and Ga-Sn-O Thin-Film Devices -	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 SID Symposium Digest of Technical Papers	6. 最初と最後の頁 512 ~ 515
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/sdtp.12768	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 Matsuda Tokiyoshi, Takagi Ryo, Umeda Kenta, Kimura Mutsumi	4. 巻 134
2. 論文標題 Room-temperature fabrication of a Ga-Sn-O thin-film transistor	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Solid-State Electronics	6. 最初と最後の頁 19 ~ 21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sse.2017.05.006	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 Matsuda Tokiyoshi, Uenuma Mutsunori, Kimura Mutsumi	4. 巻 56
2. 論文標題 Thermoelectric effects of amorphous Ga-Sn-O thin film	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 070309 ~ 070309
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.56.070309	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 Tokiyoshi Matsuda, Kenta Umeda, Yuta Kato, Daiki Nishimoto, Mamoru Furuta, and Mutsumi Kimura	4. 巻 7
2. 論文標題 Rare-metal-free high-performance Ga-Sn-O thin film transistor	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 44326
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/srep44326	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 -

[学会発表] 計14件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 S. Sugisaki, A. Kurasaki, R. Tanaka, T. Matsuda, and M. Kimura
2. 発表標題 Room Temperature Fabrication of Variable Resistive Memory Using Ga-Sn-O Thin Film
3. 学会等名 2018 25th International Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices (AM-FPD) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Tanino, R. Takagi, M. Kimura, and T. Matsuda
2. 発表標題 Characteristic Analysis of Ga-Sn-O TFT Subjected to UV Annealing Treatment
3. 学会等名 2018 IEEE International Meeting for Future of Electron Devices, Kansai (IMFEDK) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Aramaki, R. Nomura, T. Matsuda, M. Kimura, K. Umeda, M. Uenuma, and Y. Uraoka
2. 発表標題 Thermoelectric Conversion Device Using Ga-Sn-O Thin Film Prepared by Mist CVD Method
3. 学会等名 2018 IEEE International Meeting for Future of Electron Devices, Kansai (IMFEDK) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Takishita, R. Okamoto, M. Kimura, and T. Matsuda
2. 発表標題 Evaluation of GTO Film Deposited Using mist CVD Method
3. 学会等名 2018 IEEE International Meeting for Future of Electron Devices, Kansai (IMFEDK) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tokiyoshi Matsuda, Kenta Umeda, Yuta Kato, Daiki Nishimoto, Mamoru Furuta, and Mutsumi Kimura
2. 発表標題 Rare-metal-free high-performance Ga-Sn-O thin film transistor
3. 学会等名 9th World Congress on Materials Science and Engineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 梅田 鉄馬、松田 時宜、木村 睦
2. 発表標題 高性能レアメタルフリーGa-Sn-O薄膜トランジスタ
3. 学会等名 応用物理学会 第64回春季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 木村 睦、松田 時宜
2. 発表標題 酸化物半導体の研究開発と電子デバイスへの新規応用
3. 学会等名 第2回 NEDIA DAY 関西 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 木村 睦、松田 時宜
2. 発表標題 レアメタルフリー酸化物半導体薄膜トランジスタ
3. 学会等名 JST新技術説明会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 福嶋 大貴, 弓削 政博, 木村 睦, 松田 時宜
2. 発表標題 ミストCVD法で作製したGaSnO ₂ 薄膜の特性評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 SDM EID
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 梅田 鉄馬, 加藤 雄太, 西本 大樹, 松田 時宜, 木村 睦
2. 発表標題 新規レアメタルフリーAOS-TFTの研究開発
3. 学会等名 電子情報通信学会 SDM EID
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tokiyoshi Matsuda, and Mutsumi Kimura
2. 発表標題 Evaluation of Defects in Oxide Semiconductors using Electron Spin Resonance (ESR)
3. 学会等名 2016 International Symposium for Advanced Materials Research (ISAMR 2016) Sun Moon Lake, Taiwan, August 13, 10:40-11:10, No. 3, p. 14. (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kenta Umeda, Yuta Kato, Daiki Nishimoto, Tokiyoshi Matsuda, and Mutsumi Kimura
2. 発表標題 Characteristic Evaluation of Ga-Sn-O Thin Films fabricated using RF Magnetron Sputtering
3. 学会等名 2016 IEEE International Meeting for Future of Electron Devices, Kansai (IMFEDK), (2016)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tokiyoshi Matsuda and Mutsumi Kimura
2. 発表標題 Evaluation and Development of New Oxide Semiconductor
3. 学会等名 Energy Materials and Nanotechnology (EMN Prague) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tokiyoshi Matsuda and Mutsumi Kimura
2. 発表標題 Relationships between the Defects and Electrical Properties of Oxide Semiconductor
3. 学会等名 Emerging Technologies Communications Microsystems Optoelectronics Sensors (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>松田 時宜 - 研究者 - researchmap https://researchmap.jp/toki/ Tokiyoshi Matsuda https://scholar.google.co.jp/citations?user=u9xAI7MAAAAJ&hl=ja http://researchmap.jp/toki</p>
--

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	木村 睦 (Kimura Mutsumi) (60368032)	龍谷大学・理工学部・教授 (34316)	