

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：14603

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02601

研究課題名(和文)アモルファス酸化物半導体における熱輸送に着目した高性能フレキシブル熱電素子の研究

研究課題名(英文) Research on high performance flexible thermoelectric device focusing on heat transport in amorphous oxide semiconductor

研究代表者

浦岡 行治 (Uraoka, Yukiharu)

奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授

研究者番号：20314536

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：200 以下の低温領域の廃熱を利用することを目的として、新しい薄膜材料を使った熱電変換素子を提案した。用いた材料はInGaZnOをはじめとする酸化物半導体であり、アモルファスでも移動度が高い、低温で薄膜形成が可能、液体プロセスでも形成可能である。そこで、「結晶性」、「形成プロセス方法」、「デバイス構造」のそれぞれの観点から、系統的に実験を進め、さらに熱伝導率の低減を可能にする3次元周期的ナノ構造プロセスなど新しい発想を加えることで、アモルファス酸化薄膜における熱輸送の物理を明らかにし、同時にフレキシブル熱電素子の動作実証によって、その原理を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球温暖化の防止にむけて、再生エネルギーの研究は喫緊の課題である。本研究では、熱を電気に変換し、電子機器の電源に活用する半導体プロセスや半導体素子の研究を行った。特に、酸化物半導体は、提案形成が可能、電気特性が優れるといった特長を有している。本研究では、酸化物半導体を活用して、効率の高い、使いやすい熱電変換素子の研究を行い、有意義な研究成果を得た。

研究成果の概要(英文)：We proposed a thermoelectric conversion element using a new thin film material for the purpose of utilizing waste heat in the low temperature region of 200 °C or less. The material used is an oxide semiconductor such as InGaZnO, which has high mobility even if it is amorphous, can be formed into a thin film at a low temperature, and can be formed by a liquid process. Therefore, from the viewpoints of "crystallinity", "formation process method", and "device structure", we systematically proceed with experiments and create new ideas such as a three-dimensional periodic nanostructure process that enables further reduction of thermal conductivity. The physics of heat transfer in an amorphous oxide thin film was clarified by adding, and at the same time, the principle was verified by demonstrating the operation of a flexible thermoelectric element.

研究分野：半導体工学

キーワード：熱電変換素子 酸化物半導体 薄膜半導体 原子層堆積法 半導体デバイス

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

熱電デバイスは、廃熱を直接電気に変換できるデバイスである[1]、[2]。それらの性能は、多くの場合、無次元の性能指数 zT ($zT = S^2 \sigma / \kappa$) で表される。ここで、 S はゼーベック係数、 σ は電気伝導率、 κ は熱伝導率です。力率 ($PF = S^2 \sigma$) と呼ばれる分子成分は、熱電発電への電氣的寄与を表す。潜在的な材料の中で、酸化物は、その豊富さ、低毒性、および熱安定性のために望ましい[2]、[3]。インジウムガリウム亜鉛酸化物は、その優れた移動度、低いオフ状態リーク電流、および低温加工性により、電子デバイス用の透明酸化物半導体材料である[4]-[8]。InGaZnO とそれに関連する酸化物は、薄膜トランジスタのチャネル材料としてよく研究されている[4]-[9]。アモルファスと結晶の両方の InGaZnO 薄膜も、比較的低い zT を示すため、熱電用途で調査されている[10]、[11]。しかし、InGaZnO 薄膜の PF は、主に S と σ とキャリア濃度 (n) との結合しているが反対の関係のために、約 0.08 mW/mK^2 の限界に達している[12]。したがって、 S と σ を分離することは、既知の制限を超えて PF を強化するための鍵となる。

薄膜トランジスタ (TFT) に酸化物を組み込むと、元の薄膜トランジスタと比較して PF が桁違いに改善されることが以前に報告されている[13]-[16]。これは主に、酸化物/絶縁体の界面での 2 次元電子ガス (2DEG) の形成に起因している[13]-[16]。Liang ら [13] は、 $a\text{-SnO}_2$ TFT におけるゲート電圧 (V_g) 印加による S の変調を報告している。清水ら [14] は、TFT 構造でイオンゲートすると、ZnO の熱電 PF が著しく向上することを確認した。2DEG の形成により、量子閉じ込め効果により S と σ を独立して改善することができた[14]。ただし、2DEG の形成がこれまで観察されていなかった一般的な酸化物 TFT で、 S と σ を個別に制御できるかどうかは不明である。

2. 研究の目的

本研究では、酸化物材料の熱電素子への応用を研究した。特に酸化物材料の代表である InGaZnO の熱電性能が、TFT に組み込まれたときに大幅に向上する可能性を調査した。この研究では、従来の InGaZnO / SiO_2 TFT を使用したが、high- k 誘電体などの他のゲート絶縁体材料も検討できることを示す。正の V_g を印加すると、InGaZnO / SiO_2 界面領域での σ は、界面での電荷キャリアの蓄積により指数関数的に増加した。これは興味深いことに、 S のわずかな減少のみを伴い、 PF は純粋な薄膜で通常観察される値よりも高い値に達することを示した。

3. 研究の方法

ボトムゲートトップコンタクト TFT は、ゲート絶縁体として 85nm の熱酸化された SiO_2 層を備えた高濃度にドーパされた p 型 Si 基板ゲート電極上に作製された。チャネルの寸法は、 $L = 0.9 \text{ mm}$ および $W = 0.4 \text{ mm}$ であった (図 1a)。最初に、70 nm のチャネル層が、室温でアモルファス InGaZnO ($\text{In}_2\text{O}_3 : \text{Ga}_2\text{O}_3 : \text{ZnO} = 2 : 2 : 1$) の高周波マグネトロンスパッタリングによって堆積された。堆積中の RF 電力と圧力はそれぞれ 100W と 0.6Pa であった。パターン化は、従来のフォトリソグラフィーと 0.02M HCl によるウェットエッチングによって行われた。次に、金属薄膜 (80 nm Ti / 20 nm Au) が電子ビーム蒸着によって堆積された。ソース電極とドレイン電極も、フォトリソグラフィーとリフトオフによって形成された。次に、ポストアニーリングを 300 °C で 2 時間空気中 ($\text{N}_2 : \text{O}_2 = 4 : 1$) で実施した。転送 ($I_D - V_g$) および出力 ($I_D - V_D$) 曲線は、半導体パラメータアナライザ (Agilent 4156C) を使用して取得しました。すべての測定は、周囲雰囲気下で実行され

た。Sを決定するために、2つのペルチェデバイスを2mm間隔でサンプルの下に配置し、ソースとドレインの間に温度勾配を誘導した ($T = 0-6K$)。ステージは冷却水システムに取り付けられている。Tは、デバイス上部に配置された赤外線熱顕微鏡(QFI)[17]-[19]を使用して測定された。デバイスサンプルはボトムゲートであるため、Al/Au薄膜でコーティングされたSiプレートをペルチェデバイスとサンプルの間に配置して、 V_G アプリケーションを容易にした。 V_G を変化させながら、熱起電力(V)とTを同時に監視した。 V は、さまざまなTにさらされている間に $V_D = -10 \sim 10mV$ で測定された I_D-V_D 曲線の電圧シフトから計算した。 $V-T$ プロットの傾きはS値を表す。

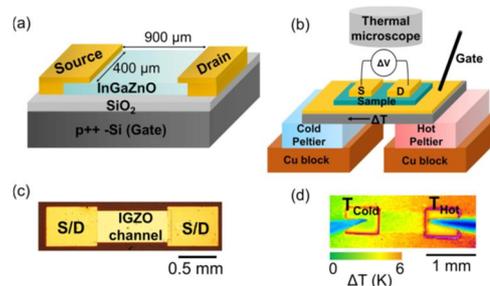


図1 (a) TFT 構造、(b) Seebeck 測定セットアップ、(c) 実際の TFT の光学顕微鏡画像、および (d) サンプル熱マップ画像 (実際の TFT)。

4. 研究成果

(1) 製造された InGaZnOTFT のトランジスタ特性を図2に示す。図2aの伝達曲線は、印加さすのドレイン電圧 (V_D) に対して適切なスイッチしている。これは、典型的なトランジスタの動作している。ゼーベック電圧の範囲が予想される 100 V_D でも、TFT の ON 電流はリーク電流 (I_G) よりもくなる。図には、移動度 (μ) しきい値電圧 (V_{TH}) オフ比 (I_{OFF} / I_{ON}) などのトランジスタ特性が示され

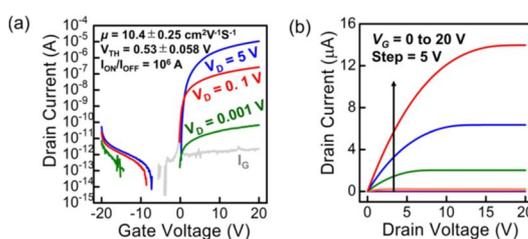


図2. (a) ボトムゲートの伝達曲線と (b) 出力曲線 (トップコンタクト IGZO TFT)。

れたすベングを示を示唆し μV の低い著しく高電流オン

$V_D = 0.1 V$ での線形領域の移動度は、式 $\mu = gmL /$

$(WCoxV_D)$ を使用して計算された。ここで、 gm は測定された相互コンダクタンス、 Cox は SiO_2 の静電容量である。得られた最大移動度は $10.4cm^2V^{-1}s^{-1}$ であり、これは過去の文献[2]、[20]、[21]と矛盾しない。図2bのTFT出力曲線は、明確なピンチオフと飽和の動作を示している。これは、InGaZnOTFTが標準のトランジスタ理論に準拠していることを意味する。

(2) 熱電特性を調べるために、さまざまな V_G の下 ($V_D = -10 \sim 10 mV$) から抽出された抵抗を使用して e ただし、考慮すべき厚さは、適用される V_G によって変される。これを取得するために、標準の空乏近似式 $n = (t_{ox}ed)$ に従って、InGaZnO 深度に沿った GI/チャネル離に対して n を計算した。ここで、 α_{ox} , t_{ox} , e , およ誘電体に対応する。一定、 SiO_2 の厚さ、電子電荷、GI/からの InGaZnO 距離[22]。 $V_G=0$ から 40V までの $n-d$ プロに示す。図3aは、 n が一般的に V_G とともに増加未満で飽和することを示している。これは、電荷存在を意味する。次に、 $n = n_0 / e$ (n_0 は正確に投影された n) となる距離を、蓄積層の厚さ (t_{acc}) として識別した。抽出された蓄積層の厚さは約 1.3nm であった。この蓄積層の厚さは正の V_G 範囲に使用され、総膜厚 (70 nm) は $V_G \leq 0$ に使用された。図3bで明らかのように、 e は負の V_G ではほとんど変化せず、正の V_G では指数関数的に増加する。これは、トランジスタ伝導帯理論[23]に基づいて予想される。

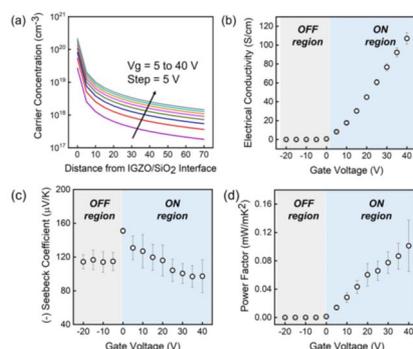


図3. (a) n 対厚さの近似、および (b) e 、(c) S 、に対する V_G の影響および (d) PF。

で I_D-V_D 曲線を計算した。化すると予想 (αVG) / 界面からの距離 d は SiO_2 チャネル界面ットを図3aし、10nm蓄積層の境界面に

(3) トランジスタがオンの場合 ($V_G > 0$)、伝導帯は SiO_2 表面で下向きに曲がり、フェルミエネルギー

(EF)が伝導帯の最小値(CBM)より上に位置するようになった。その結果、電子は強制的にSiO₂/InGaZnO界面に蓄積される。正のV_Gをさらに大きくすると、界面での電子密度が高くなる可能性がある。トランジスタがオフの場合(V_G < 0) 伝導帯は上向きに曲がり、EFはCBMの下に残る。その結果、電子は界面から追いつかれる。この場合、キャリア蓄積層が存在しない可能性が高いため、システムは、TFT オフ状態の元の薄膜と同様に機能すると想定できる。

(4) 図3cは、InGaZnO TFTのSに対するV_Gの影響を示している。トランジスタがオフの状態では、Sは供給される負のV_Gの大きさの影響を受けない。負のV_G領域からV_G=0へのSの増加は、適用されたTによって引き起こされたV_{TH}シフトに起因している可能性がある。ただし、トランジスタがオン状態のとき、Sは151.06付近から97.9 μV/Kまでわずかに減少する傾向を示す。これは、Sとnの逆の関係のためと予想される。興味深いことに、Eの2桁を超える増加を考慮すると、Sの減少は深刻ではない。これは、S-e結合関係の抑制の可能性を示唆している。このため、図3dに示すPFは、VG-eの関係と同様に指数関数的に増加する傾向を示している。方程式で示されるように、SはEよりもPFに大きな影響を与えるはずであるが、V_Gによる小さなSの変動は、eの指数関数的な増加によって大きく影響された。V_G変調によるPFの大幅な改善は、主に熱電的にアクティブな領域を極端に狭めるGI/チャンネルインターフェイスの蓄積層によって達成できる可能性がある。

(5) InGaZnO TFTで発生するS-eデカップリングの性質を解明するために、神谷-野村パーコレーションモデルを使用して、その熱電性能を元のInGaZnO薄膜と比較して評価した。このパーコレーションモデルは、InGaZnO薄膜の伝導メカニズムを説明するために広く使用されている[11]、[24]、[25]。モデルによれば、電荷輸送は、状態密度がエネルギーの平方根に依存する伝導帯で発生し、ポテンシャル障壁のガウス分布が帯内に存在する。これは、Zn²⁺およびGa³⁺イオンのサイト共有による構造のランダム性に起因する可能性がある[24]、[25]。これらの潜在的な障壁は、EFがテール状態にあるときに電子伝導を妨げ、低エネルギー状態のキャリアの寄与を弱める可能性がある[8]、[24]。このモデルは、Adlerらによって数値的に記述されている[26]。

(6) 神谷-野村パーコレーションモデルとeの理論的挙動を図4aに示す。水色で示されている理論値は、一定のφを維持しながらパーコレーション係数のσおよびパラメータを変化によって得られた。また、InGaZnO TFT(赤線データ、および以前の文献[11]、[27]がファス(水色と濃い青の点)およびナノ結晶)InGaZnO薄膜の実験データもプロ

る。a-InGaZnOに関するデータは、堆積させた場合の熱電特性に対応している。InGaZnO-1の場合、考慮された要因は、堆積圧力(0.4-1.0 Pa)、ターゲットから基板までの距離(95-110 mm)および無線周波数電力(50-129 W)であった。a-InGaZnO-2の場合、堆積雰囲気中のO₂の量を変化させた(Arで0~6%)。すべての実験結果は、理論モデルを裏付けている。ただし、薄膜とTFTは、異なるパーコレーション係数パラメータとφの下で適合させることができる。これらは、それぞれ、潜在的なバリアの平均幅と分布幅を示す。青と赤の線は、それぞれ薄膜とTFTの実験データによって示される傾向に最も近いパーコレーション係数を持つ理論モデルに対応している。これは、2つの材料システムの潜在的な障壁の形状が異なることを意味する。TFTは、より大きなφとより小さなσを示した。これは、潜在的な障壁がより高く、より均一なピークで構成されていることを示唆している。これは、エネルギーフィルタリング

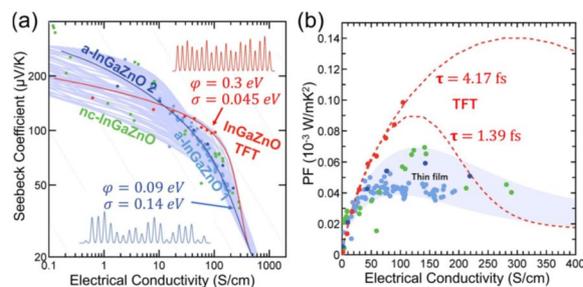


図4. (a) S対eおよび(b) PF対eの関係を比較
過去の文献からのInGaZnO薄膜を備えたInGaZnOTFT。

に基づくS線
で示され
パーコレー
させること
い点)の実
らのアモル
晶(緑の
ットされてい
積条件を変化
る。a-

と呼ばれる現象によって引き起こされた可能性がある。この現象では、低エネルギーの電子がフィルターで除去され、高エネルギーの電子が伝導輸送のみに関与する。効果として、高い電気伝導率を損なうことなく S を増加させることができる [28] - [30]。

(7) 次に、理論的および実験的な PF- τ の関係を図 4b に示す。プロットは、同じ $\tau = 1.39$ fs の下で、TFT が元の薄膜と比較してより高い PF 値に到達できたことを示している。TFT によって達成される最大 PF は、薄膜のそれよりも約 42% 高くなる。これは、エネルギーフィルタリングによって引き起こされる S- τ 結合の抑制に起因する可能性がある。さらに、TFT はより高い τ でフィッティングすることができ、 $\tau = 4.37$ fs の場合、約 400 S/cm の導電率で最大 ~ 0.15 mW/mK² に達することができる。InGaZnO / SiO₂ 界面で発生するエネルギーフィルタリングは、非常に狭い熱電活性領域から生じる量子閉じ込めによって引き起こされた可能性がある [24] - [26]。

(8) 前述のように、TFT 構造に統合された他の酸化物では、数桁までの PF の大幅な改善がすでに観察されている [13] - [16]。これは主に、2DEG 形成によって引き起こされる量子効果に起因する。ただし、InGaZnO / SiO₂ TFT の場合、PF は、InGaZnO 薄膜によって示される既知の PF 制限から 25% の増加しか示していない。これは、2DEG 形成が InGaZnO/SiO₂ 界面で発生しなかったことを示唆している可能性がある。それにもかかわらず、InGaZnO / SiO₂ TFT は、そのオン状態でエネルギーフィルタリング効果を誘発できることが実証されている。このような現象の発生は、S- τ 結合を大幅に抑制するのに十分であるように思われ、これにより、以前に観察された InGaZnO 薄膜の PF 限界を破ることができた。

参考文献

- [1] F. J. DiSalvo, Science, vol. 285, no. 5428, pp. 703-706, Jul. 1999.
- [2] H. Goldsmid, Introduction to Thermoelectricity, 2nd ed. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2010.
- [3] J. W. Fergus, J. Eur. Ceram. Soc., vol. 32, no. 3, pp. 525-540, Mar. 2012.
- [4] K. Nomura et al, Nature, vol. 432, no. 7016, pp. 488-492, Nov. 2004.
- [5] H. Hosono, Nature Electron., vol. 1, p. 428, Jul. 2018.
- [6] Y. Zhao et al, Adv. Funct. Mater., vol. 30, no. 34, Aug. 2020, Art. no. 2003285.
- [7] H.-W. Zan et al, Adv. Mater., vol. 24, no. 26, pp. 3509-3514, Jun. 2012.
- [8] Y. S. Rim et al, Adv. Mater., vol. 26, no. 25, pp. 4273-4278, Apr. 2014.
- [9] W. Cai et al, IEEE Electron Device Lett., vol. 42, no. 4, pp. 525-528, Apr. 2021.
- [10] B. Cui et al, J. Phys. Chem. C, vol. 120, no. 14, pp. 7467-7475, Mar. 2016.
- [11] T. Yoshikawa et al, Appl. Phys. Exp., vol. 6, Jan. 2013, Art. no. 021101.
- [12] Y. Fujimoto et al, AIP Adv., vol. 5, no. 9, Sep. 2015, Art. no. 097209.
- [13] D.-D. Liang et al, Appl. Phys. Lett., vol. 116, no. 14, Apr. 2020.
- [14] S. Shimizu et al, Proc. Nat. Acad. Sci. USA, vol. 113, pp. 488-492, May 2016.
- [15] H. Ohta et al, Adv. Sci., vol. 5, no. 1, Jan. 2018, Art. no. 1700696.
- [16] H. Ohta et al, Adv. Mater., vol. 24, no. 6, pp. 740-744, Jan. 2012.
- [17] S. Urakawa et al, Appl. Phys. Lett., vol. 102, no. 5, Feb. 2013.
- [18] M. Uenum et al, Appl. Phys. Lett., vol. 107, no. 7, Aug. 2015, Art. no. 073503.
- [19] M. Fujii et al, J. S. Jung, and J. Y. Kwon, Jpn. J. Appl. Phys., vol. 47, no. 8, pp. 6236-6240, Aug. 2008.
- [20] T. Takahashi et al, Appl. Phys. Exp., vol. 12, no. 9, Aug. 2019, Art. no. 094007.
- [21] J. P. Bermundo et al, J. Phys. D, Appl. Phys., vol. 49, no. 3, Dec. 2015, Art. no. 035102.
- [22] M. Kiguchi et al, Jpn. J. Appl. Phys., vol. 42, pp. L1408-L1410, Dec. 2003.
- [23] S. Sze and M. Lee, Semiconductor Devices, 3rd ed. New York, NY, USA: Wiley, May 2012.
- [24] T. Kamiya et al, Appl. Phys. Lett., vol. 96, no. 12, Mar. 2010, Art. no. 122103.
- [25] W. C. Germs et al, Phys. Rev. B, Condens. Matter, vol. 86, no. 15, pp. 155319-1-155319-8, Oct. 2012.
- [26] D. Adler et al, Solid State Commun., vol. 12, pp. 9-12, Jan. 1973.
- [27] J. Felizco et al, Appl. Surf. Sci., vol. 527, p. 14679, Oct. 2020.
- [28] D. Narducci et al, J. Solid State Chem., vol. 193, pp. 19-25, Sep. 2012.
- [29] M. S. Dresselhaus et al, Adv. Mater., vol. 19, no. 8, pp. 1043-1053, Mar. 2007.
- [30] C. Gayner et al, "Adv. Funct. Mater., vol. 30, no. 18, May 2020.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Felizco Jenichi Clairvaux, Uenuma Mutsunori, Ishikawa Yasuaki, Uraoka Yukiharu	4. 巻 527
2. 論文標題 Optimizing the thermoelectric performance of InGaZnO thin films depending on crystallinity via hydrogen incorporation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Surface Science	6. 最初と最後の頁 146791 ~ 146791
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apsusc.2020.146791	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 Felizco Jenichi, Juntunen Taneli, Uenuma Mutsunori, Etula Jarkko, Tossi Camilla, Ishikawa Yasuaki, Tittonen Ilkka, Uraoka Yukiharu	4. 巻 12
2. 論文標題 Enhanced Thermoelectric Transport and Stability in Atomic Layer Deposited-HfO ₂ /ZnO and TiO ₂ /ZnO-Sandwiched Multilayer Thin Films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 49210 ~ 49218
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsmi.0c11439	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 Corsino Dianne C., Bermundo Juan Paolo S., Kulchaisit Chaiyanan, Fujii Mami N., Ishikawa Yasuaki, Ikenoue Hiroshi, Uraoka Yukiharu	4. 巻 2
2. 論文標題 High-Performance Fully Solution-Processed Oxide Thin-Film Transistors via Photo-Assisted Role Tuning of InZnO	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Electronic Materials	6. 最初と最後の頁 2398 ~ 2407
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.0c00348	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 Safaruddin Aimi Syairah, Bermundo Juan Paolo Soria, Yoshida Naofumi, Nonaka Toshiaki, Fujii Mami N., Ishikawa Yasuaki, Uraoka Yukiharu	4. 巻 41
2. 論文標題 Improvement in Bias Stress Stability of Solution-Processed Amorphous InZnO Thin-Film Transistors via Low-Temperature Photosensitive Passivation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Electron Device Letters	6. 最初と最後の頁 1372 ~ 1375
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LED.2020.3011683	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 Takahashi Takanori, Fujii Mami N., Miyanaga Ryoko, Miyanaga Miki, Ishikawa Yasuaki, Uraoka Yukiharu	4. 巻 13
2. 論文標題 Unique degradation under AC stress in high-mobility amorphous InWZnO thin-film transistors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 054003 ~ 054003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ab88c5	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 Yuki Hashima, Takanori Takahashi, Yasuaki Ishikawa, and Yukiharu Uraoka	4. 巻 2
2. 論文標題 Development of High-Reliability and -Stability Chemical Sensors Based on an Extended-Gate Type Amorphous Oxide Semiconductor Thin-Film Transistor	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Appl. Electron. Mater.	6. 最初と最後の頁 405-408
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaelm.9b00844	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 T. Takahashi, R. Miyanaga, M. N. Fujii, J. Tanaka, K. Takechi, H. Tanabe, J. P. Bermundo, Y. Ishikawa and Y. Uraoka	4. 巻 12
2. 論文標題 Hot carrier effects in InGaZnO thin-film transistor	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 094007-1, -4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786/ab3c43	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.Uraoka, J. P. Bermundo, M.N. Fujii, M. Uenuma, and Y. Ishikawa	4. 巻 58
2. 論文標題 Degradation phenomenon in metal-oxide semiconductor thin-film transistors and technique for its reliability evaluation and suppression	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 90502
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab1604	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5件(うち招待講演 1件/うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Mutsunori Uenuma, Yukiharu Uraoka
2. 発表標題 Bayesian optimization and expected hyper volume improvement for SiO ₂ /GaN capacitor
3. 学会等名 International Conference on Solid State Devices and Materials (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yukiharu Uraoka
2. 発表標題 Hot Carrier Degradation in High Mobility Metal Oxide Thin Film Transistors
3. 学会等名 SID2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hoshito Murakawa, Mutsunori Uenuma, Jenichi Felizco, Yukiharu Uraoka
2. 発表標題 Thermoelectric Properties in Thin Film with pn Junction
3. 学会等名 17th European Conference on Thermoelectrics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mutsunori Uenuma, Yukiharu Uraoka
2. 発表標題 Film TEG with Controlled Heat Flow
3. 学会等名 17th European Conference on Thermoelectrics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jenichi Clairvaux Felizco, Hoshito Murakawa, Yasuaki Ishikawa, Yukiharu Uraoka
2. 発表標題 Inducing Thermoelectricity in C-axis Aligned Crystalline InGaZnO Thin Film via Hydrogen Annealing
3. 学会等名 International Conference on Solid State Devices and Materials 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 浦岡行治他	4. 発行年 2020年
2. 出版社 株式会社 情報機構	5. 総ページ数 596 (うちp.386-388, p.471-472)
3. 書名 マテリアルインフォマティクス Q&A集	

〔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	上沼 睦典 (Uenuma Mutsunori) (20549092)	奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・准教授 (14603)	
研究分担者	B e r m u n d o J . P . S (Joan Bermundo) (60782521)	奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・助教 (14603)	
研究分担者	石河 泰明 (Yasuaki Ishikawa) (70581130)	奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・准教授 (14603)	

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