

令和 6 年 5 月 13 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04696

研究課題名（和文）酸化物半導体材料を用いた透明フレキシブルIoT用センサの作製

研究課題名（英文）Fabrication of visible-light-transparent flexible IoT sensors using oxide semiconductors

研究代表者

杉山 睦（Mutsumi, Sugiyama）

東京理科大学・創域理工学部電気電子情報工学科・教授

研究者番号：40385521

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：ワイドバンドギャップ酸化物半導体の特長を活かした、透明太陽電池から電力供給するCO₂センサなどの透明IoTデバイスを試作し、「超安価な透明フレキシブルIoTセンサ」を実現するための要素技術研究と、フレキシブルデバイス固有の欠陥や長期間使用時の劣化など、半導体中の欠陥生成・抑制メカニズムの解明を並行して実施した。材料は人体に無害で安価な機能材料である酸化物半導体を使用し、作製には安価な大面積堆積に適しているスパッタ法および静電スプレー法を用いることで、気軽に使える安価なIoTデバイス実現に向けた提案することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、機能材料である酸化物半導体を用いた「超安価な透明フレキシブルIoTデバイス」を半導体材料からデバイス構造まで一貫して提案するものである。透明でフレキシブルな太陽電池・各種センサ・トランジスタを組み合わせたモノリシックデバイスが活躍できる場は限りない。本課題は、学術的・理学的にフレキシブル酸化物半導体の欠陥物性を明らかにすることで、欠陥抑制・デバイス長寿命化に貢献するとともに、工学的に透明・フレキシブル・外部電源不要なデバイスを提案するものであるため、農業・衣料・防犯・福祉など、その応用展開・社会への波及効果も広い。

研究成果の概要（英文）：To realize "ultra-low-cost transparent flexible IoT sensors," transparent IoT devices such as CO₂ sensors and transparent solar cells made from wide-bandgap oxide semiconductors were fabricated. Concurrently, investigation was carried out into the degradation and suppression properties of the semiconductors, including defects specific to flexible devices and degradation during long-term use. Wide-bandgap oxide semiconductors, which are harmless and inexpensive functional materials, were utilized, and the use of sputtering and electrostatic spray deposition methods suitable for inexpensive large-area deposition was proposed to achieve easily usable low-cost IoT devices.

研究分野：半導体デバイス

キーワード：NiO 透明半導体 フレキシブルデバイス 酸化物半導体

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

農業・衣料・防犯・福祉などの分野に機械や AI を導入するアイデアは以前よりあるが、システム全体の価格、初期設定(配線・取り付けなど)の簡便さ、運用(メンテナンス)の簡便さなどが解決されておらず、使い手に金銭的・作業的負担が多いものがある。更に、一般的には、電力供給がない状況下で、高温、高湿度、風雪などの過酷な環境下で半導体電子、光、センサデバイスを安定的に運用することは困難である。例えば、農作業のノウハウ無く、自動的に環境を調整するビニールハウスや、透明ゆえ意匠性を損なうこと無く衣料に設置できる健康管理センサ、監視されているストレスを感じない防犯センサや高齢者の見守りシステムなど、透明でフレキシブルな太陽電池・各種センサ・トランジスタを組み合わせたモノリシックデバイスである IoT センサが活躍できる場は限りない。

2. 研究の目的

本研究は、自ら発電した電力で動作する各種センサ等を融合した、超安価な透明フレキシブル IoT センサの基幹技術を、材料からデバイスまで一貫して提案するプロセス開発と、フレキシブルデバイス固有の欠陥や長期間使用時の劣化など、半導体中の欠陥生成・抑制メカニズムの解明する事を目的とする。課題実現のために、ワイドバンドギャップ酸化物半導体のみを用いて、半導体デバイスの作製と物性解明の両面から研究した。

3. 研究の方法

上記目的を達成するために、具体的には以下の3つの課題に取り組んだ。

- (1) 透明な太陽電池・各種センサのプラスチック系基板上への作製
- (2) 透明フレキシブルデバイスの欠陥物性解明
- (3) 透明フレキシブルデバイスのフィールドテストと劣化機構解明

3つのテーマは互いに関係を持ちながら並行して実施した。将来の実用化を視野に入れ、汎用性が高く工業的に利点の多いスパッタ法と静電スプレー法を併用して各種酸化物半導体薄膜成長・デバイスの試作を行った。p型半導体 NiO 以外の材料は、耐性が高く安価な ZnO、SnO₂、TiO₂ およびその混晶を中心に用いた。薄膜成長の基礎からデバイス応用まで総合的に研究し、理学・工学両面の知見を活用してデバイス実現を目指した。

4. 研究成果

2021 年度

これまで高軟化温度のガラス上にスパッタ成膜し作製してきた各種透明デバイスであるが、軟化温度が低いプラスチック系基板では、成膜温度や基板と半導体との付着性、湾曲時に生じる欠陥の抑制技術などの課題が生じる。これらを解決するために、2021 年度は以下の3つの研究を行った。

- (1) スパッタ装置を改造し、原料分子の運動エネルギーを高くして基板に衝突させられるようにすることで、基板温度を低く保ちながら結晶品質が高いワイドギャップ酸化物半導体 NiO や SnO₂ を成膜することができた。また、膜質の比較を、ガラス基板上に堆積した多結晶薄膜や、MgO やサファイア上に堆積したエピタキシャル薄膜との間で行った。
- (2) 非真空・低温で成膜可能なスプレー堆積装置の立ち上げと、導電性 NiO の成膜を行った。得られた膜に対しスパッタ成膜した薄膜との結晶品質を比較した。
- (3) 湾曲時に生じる欠陥種の判別・定量化 (XRD, SEM, TEM などの構造特性、PL, 透過, ラマンなどの光学特性評価) および材料固有およびプラスチック基板上の欠陥低減技術検討 (Hall, CV, JV などの電気特性評価) を行った。

上記研究成果について、2021 年度は2編の査読付き英文論文発表、1件の国際学会招待講演発表、10件の国内学会発表と、多くの成果を外部発信することができた。

2022 年度

前年度に得られた知見をもとに、2022 年度は以下の 3 つの研究を行った。

- (1) 非加熱スパッタ法を用いて、NiO 太陽電池-CO₂ ガスセンサー一体型での、自ら発電した電力で自らモニタリングを行う「セルフパワーデバイス」を試作した。また、酸化物半導体薄膜の膜質の比較を、ガラス基板上に堆積した多結晶薄膜や、MgO 上に堆積したエピタキシャル薄膜との間で行った。
- (2) スパッタ法と平行して、非真空・低温で成膜可能な「静電噴霧装置」の立ち上げと、導電性 NiO の成膜を行った。得られた膜に対しスパッタ成膜した薄膜との結晶品質を比較した。
- (3) NiO 成膜時やデバイス作製時に生じる欠陥種の判別・定量化 (SEM, TEM などの構造特性、CL, PL, 透過, ラマンなどの光学特性評価) および材料固有およびプラスチック基板上の欠陥低減技術検討 (Hall, CV などの電気評価) を行った。とりわけ、NiO の輻射再結合系欠陥を PL・CL 測定で、非輻射再結合系の深い欠陥を PDS (光熱偏向分光法) にて評価検討した。

上記研究成果について、2022 年度は 4 編の査読付き英文論文発表および 11 件の国内学会発表と、多くの機会外部発信することができた。

2023 年度

これまでに得られた知見をもとに、2023 年度は以下の 4 つの研究を行った。

- (1) 静電噴霧装置を改造した、静電スプレー堆積装置を用いて、使用する溶液・溶媒を最適化することで、簡便に NiO 系透明太陽電池を作成することができた。
- (2) NiO/ZnO 積層構造を有する透明太陽電池に対し、空乏層中の欠陥量や空乏層幅などをコントロールすることで、太陽電池の短絡電流密度を向上させることができた。
- (3) CO₂ ガスセンサに、陽子線などの放射線を照射し、優先的に形成した酸素空孔によってガスセンサ感度が向上することを明らかにし、長期信頼性実現のための足がかりを得ることができた。
- (4) 光触媒や水素発生用光電極など、酸化物半導体を用いる領域への応用展開と、固液界面でのキャリアの振る舞いの解明を行うとともに、太陽電池-水素生成光電極のモノリシック構造試作をおこなった。

最終的に、スプレー熱分解法を用いた透明な太陽電池の安価な作製法の提案と、フレキシブル透明太陽電池や CO₂ センサ劣化メカニズムの解明と高性能化、および各種酸化物半導体の半導体物性解明に関する研究を行った。これらの課題に対して、RF スパッタ・スプレー熱分解法と、2 種類の成膜方法で高品質な NiO 薄膜を堆積でき、透明太陽電池や CO₂ センサーなどを試作することができたなど、透明フレキシブル IoT デバイス実現のために多くの研究成果を得ることができた。

上記研究成果について、2023 年度は 6 編の査読付き英文論文発表、1 件の国際学会招待講演発表、12 件の国内学会発表と、多くの成果を外部発信することができた。

IoT 社会実現のため、電源と各種センサ・IC がモノリシック化したデバイスの研究が盛んであるが、「電源まで含めてすべて透明・薄膜」というデバイスの提案は国内外ともに皆無である。最近、透明な太陽電池等を、有機物を用いて試作する報告例があるが、今回提案する IoT デバイスの環境では、紫外線・高温・高湿度など有機物半導体には厳しい環境であり、モノリシック化させ安定的に使用するのは困難である。本提案は、すべてのデバイスを過酷な環境でも安定的に動作する、ワイドギャップ酸化物半導体で作製することが独創的な点で、大学での研究に求められる『理学分野(材料の基礎物性・結晶成長基礎の解明)』と『工学分野(デバイス作製)』への橋渡し』が実現できる。更に本研究課題で培われた技術は、見えない事を利用した、独創的で多岐にわたるイノベーションの創出などの波及効果が期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Maeda Takuto, Sugiyama Mutsumi	4. 巻 62
2. 論文標題 Investigation of low-temperature deposition of SnO ₂ thin film for improving sensitivity of LaOCl/SnO ₂ heterojunction CO ₂ sensor using electrochemical impedance spectroscopy	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 115502 ~ 115502
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ad0600	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 Ueda Kana, Sugiyama Mutsumi	4. 巻 63
2. 論文標題 Effect of monolithic photovoltaic-photoelectrochemical-integrated Cu(In, Ga)Se ₂ -related coplanar device on water splitting reaction	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 011005 ~ 011005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ad1b95	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 Ueda Kana, Sugiyama Mutsumi	4. 巻 57
2. 論文標題 Effect of the energy band bending on surface by Cu-poor layer of Cu(In, Ga)Se ₂ -related photoelectrode for water splitting	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Physics D: Applied Physics	6. 最初と最後の頁 135103 ~ 135103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6463/ad18f4	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 Tomono Keisuke, Sugiyama Mutsumi	4. 巻 63
2. 論文標題 Investigating electrical properties and crystal growth in NiO thin films by spray pyrolysis and electrostatic spray deposition	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 025504 ~ 025504
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ad1f09	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 Maeda Takuto, Sugiyama Mutsumi	4. 巻 63
2. 論文標題 Controlling the structure and composition of SnO ₂ -based thin film with reactive sputtering to improve the sensitivity of semiconductor CO ₂ sensor	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 045501 ~ 045501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ad358e	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 Maeda Takuto, Sugiyama Mutsumi	4. 巻 63
2. 論文標題 Effect of proton irradiation on the sensitivity of CO ₂ sensors based on SnO ₂ and SnO-SnO ₂ heterojunctions	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 045506 ~ 045506
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ad3ab6	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 Okajima Mayu, Sugiyama Mutsumi	4. 巻 62
2. 論文標題 Direct and in situ observations of plants under various light illumination conditions using electrochemical impedance spectroscopy	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 027002 ~ 027002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/acb6cb	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 Sugiyama Mutsumi, Okajima Mayu	4. 巻 34
2. 論文標題 Application of electrochemical impedance spectroscopy and modeling of the novel equivalent circuit for monitoring cellular tissues	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Theoretical and Experimental Plant Physiology	6. 最初と最後の頁 501 ~ 508
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s40626-022-00260-2	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 Hamada Tomohiro, Sugiyama Mutsumi	4. 巻 61
2. 論文標題 Fabrication of solar cells with CO ₂ gas sensing capabilities based on a NiO/ZnO p-n junction for developing self-powered gas sensors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 054002 ~ 054002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac541f	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 Sugiyama Mutsumi	4. 巻 2023
2. 論文標題 Introduction of visible-light-transparent novel devices using widegap nickel oxide (NiO) thin film	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 JSAP Review	6. 最初と最後の頁 230410 ~ 230410
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11470/jsaprev.230410	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 Kim Joonam, Kato Naruhide, Chichibu Shigefusa F., Sugiyama Mutsumi	4. 巻 60
2. 論文標題 Electrical degradation and recovery of NiO/ZnO visible-light-transparent flexible solar cells	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 064001 ~ 064001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abff3c	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 Nishimoto Keisuke, Shima Kohei, Chichibu Shigefusa F., Sugiyama Mutsumi	4. 巻 61
2. 論文標題 Reactive RF magnetron sputtering epitaxy of NiO thin films on (0001) sapphire and (100) MgO substrates	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 025505 ~ 025505
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac4392	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35件(うち招待講演 3件/うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Mutsumi Sugiyama
2. 発表標題 Fabrication of visible-light-transparent devices using NiO thin films
3. 学会等名 TACT2023 International Thin Films Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 服部 汰星, 前田 拓人, 杉山 睦
2. 発表標題 SnO ₂ 薄膜及びSnO ₂ を用いたCO ₂ ガスセンサへの陽子線照射が与える影響
3. 学会等名 2024年 第71回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小出 祐菜, 杉山 睦
2. 発表標題 NiO/ZnO系可視光透過型太陽電池におけるキャリア再結合抑制に向けた空乏層の検討
3. 学会等名 2024年 第71回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Fysol Ibna, Keisuke Tomono, Keito Okubo, Kohta Hori, Mutsumi Sugiyama
2. 発表標題 Solution-dependent electrostatic spray deposition for ZnO growth processes
3. 学会等名 2024年 第71回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 植田かな, 杉山 睦
2. 発表標題 Cu(In, Ga)Se ₂ 光電極反応面の欠陥状態が水分解に与える影響
3. 学会等名 2024年 第71回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 友野 恵介, 杉山 睦
2. 発表標題 可視光透過型積層デバイスに向けた静電スプレー法によるNiO薄膜の検討
3. 学会等名 応用物理学会 多元系化合物・太陽電池研究会 令和5年度年末講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 前田 拓人, 杉山 睦
2. 発表標題 酸化物半導体を用いた可視光透過型CO ₂ センサの感度向上に向けた検討
3. 学会等名 応用物理学会 多元系化合物・太陽電池研究会 令和5年度年末講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 植田かな, 杉山 睦
2. 発表標題 Cu(In, Ga)Se ₂ 光電極の表面層制御が水分解反応に与える影響
3. 学会等名 応用物理学会 多元系化合物・太陽電池研究会 令和5年度年末講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 前田 拓人, 杉山 睦
2. 発表標題 SnO ₂ 及びSnO-SnO ₂ ヘテロ接合ガスセンサを用いた半導体式CO ₂ センサの放射線耐性の検討
3. 学会等名 第42回電子材料シンポジウム(EMS-42),
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 服部 汰星, 前田 拓人, 杉山 睦
2. 発表標題 NaCl犠牲層を用いたSnO ₂ 薄膜の転写によるフレキシブルCO ₂ ガスセンサの検討
3. 学会等名 2023年 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小出 祐菜, 大久保 慶人, 友野 恵介, 杉山 睦
2. 発表標題 ポリイミド系フレキシブル基板がNiO系太陽電池の電気特性に与える影響
3. 学会等名 2023年 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大久保 慶人, 友野 恵介, 堀 孝太, 杉山 睦
2. 発表標題 静電スプレー法において溶媒がNiO薄膜に与える影響
3. 学会等名 2023年 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 前田 拓人, 杉山 睦
2. 発表標題 SnO ₂ 及びSnO-SnO ₂ ヘテロ接合ガスセンサを用いた半導体式CO ₂ センサの陽子線耐性の検討
3. 学会等名 2023年 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 内田 悠登, 岡嶋 真由, 杉山 睦
2. 発表標題 生体のインピーダンス測定に向けたアルミニウム箔を用いた電極の検討
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 濱田 知宏, 大久保 慶人, 杉山 睦
2. 発表標題 NiOを用いたセルフパワーCO ₂ センサの試作
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 杉山 睦, 岡嶋 真由, 内田 悠登, 中川 陽菜
2. 発表標題 次世代農業実現に向けた無損傷で植物生育状況をモニタするための電気化学インピーダンス測定の提案
3. 学会等名 日本生物環境工学会2022年福岡大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡嶋 真由, 杉山 睦
2. 発表標題 ダイレクトな植物育成モニタリングに向けた光環境変化が植物表面の電気化学インピーダンス特性に及ぼす影響
3. 学会等名 日本生物環境工学会2022年福岡大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 橋本 侑弥, 杉山 睦
2. 発表標題 RF マグネトロンスパッタ法によるエピタキシャルNiO:Li 薄膜の電気特性及び構造物性
3. 学会等名 第41回電子材料シンポジウム(EMS-41)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 前田 拓人, 杉山 睦
2. 発表標題 可視光透過型CO ₂ センサの感度向上に向けたリアクティブスパッタによるSnO ₂ 薄膜構造制御
3. 学会等名 第41回電子材料シンポジウム(EMS-41)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 友野 恵介, 杉山 睦
2. 発表標題 可視光透過型デバイスに向けたスプレー熱分解法によるLi ドープNiO 薄膜の検討
3. 学会等名 第41回電子材料シンポジウム(EMS-41)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 荒井 雄太, 杉山 睦
2. 発表標題 SnO ₂ 系可視光透過型CO ₂ センサのフレキシブル化に向けた検討
3. 学会等名 令和4年度応用物理学会 多元系化合物・太陽電池研究会 年末講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 篠田 倫太郎, 内田 悠登, 岡嶋 真由, 杉山 睦
2. 発表標題 植物のモニタリングに向けた茎における電気化学インピーダンス測定
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大久保 慶人, 友野 恵介, 庄司 拓真, 杉山 睦
2. 発表標題 静電噴霧堆積法により堆積したNiO薄膜の電気特性の制御
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岡嶋 真由, 中川 陽菜, 杉山 睦
2. 発表標題 電気化学インピーダンス法を用いた生育環境が植物に与える影響の直接モニタリング
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Mutsumi Sugiyama, Ayaka Kanai, Naruhide Kato
2. 発表標題 Current status of earth abundant materials for next-generation solar cells
3. 学会等名 2021 Materials Research Society - Taiwan International Conference (2021 MRSTIC) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 友野 恵介, 杉山 睦
2. 発表標題 NiOへのドーピングがNiO/ZnOヘテロ界面に与える影響
3. 学会等名 2022年 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 橋本 侑弥, 杉山 睦
2. 発表標題 NiO:Liエピタキシャル薄膜の正孔輸送層応用に向けた抵抗率の制御
3. 学会等名 2022年 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 前田 拓人, 荒井 雄太, 杉山 睦
2. 発表標題 可視光透過型CO2センサの感度向上に向けたSnO2薄膜へのLaOCl添加
3. 学会等名 2022年 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 荒井 雄太, 杉山 睦
2. 発表標題 フレキシブル基板を用いたSnO ₂ 系可視光透過型CO ₂ センサの作製及び感度特性評価
3. 学会等名 令和3年 応用物理学会多元系化合物・太陽電池研究会 年末講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 杉山睦
2. 発表標題 スペースシステム創造研究センター紹介と壊れない太陽電池の開発
3. 学会等名 公益社団法人日本化学会 2021年 第11回CSJ化学フェスタ2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 友野 恵介, 荒井 雄太, 黄 奕之, 杉山 睦
2. 発表標題 可視光透過型デバイスに向けたスプレー熱分解法によるp型NiO薄膜の検討
3. 学会等名 2021年 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 橋本 侑弥, 西本 啓介, 杉山 睦
2. 発表標題 RFリアクティブマグネトロンスパッタ法を用いたNiO:Li薄膜のエピタキシャル成長及び電気特性の検討
3. 学会等名 2021年 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 内田 悠登, 荒井 雄太, 濱田 知宏, 杉山 睦
2. 発表標題 SnO ₂ 薄膜を用いた可視光透過型CO ₂ センサの感度と光学特性の検討
3. 学会等名 2021年 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前田 拓人, 荒井雄太, 杉山 睦
2. 発表標題 可視光透過型CO ₂ センサの感度向上に向けたリアクティブスパッタによるSnO ₂ 薄膜制御
3. 学会等名 2021年 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 濱田 知宏, 杉山 睦
2. 発表標題 p-NiO/n-ZnOヘテロ構造を用いた可視光透過型セルフパワーCO ₂ センサの試作
3. 学会等名 2021年 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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