

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01613

研究課題名（和文）化合物薄膜太陽電池の新展開：ホモ接合SnSによる高効率な太陽電池の実現

研究課題名（英文）Frontier of the compound thin-film solar cells with homojunction SnS

研究代表者

鈴木 一誓（Suzuki, Issei）

東北大学・多元物質科学研究所・講師

研究者番号：60821717

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、主に4つの成果が得られた。SnS/MoO₃界面のXPS解析から、SnS太陽電池の開放電圧を低下させるフェルミ準位ピンングの原因が硫黄欠損や界面欠陥であり、それらを回避すれば高い開放電圧が望めることを明らかにした。フェルミ準位ピンングの原因を回避した界面を作製し、実際に高い開放電圧が得られることを実証した。硫黄欠損を低減したSnS薄膜を作製する手法として、硫黄プラズマを用いた新たな成膜手法を構築した。角度分解光電子分光を用いてSnSや関連材料の電子構造を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

SnSは環境適応型の太陽電池材料として期待されている。本研究では、SnS単結晶を用いた研究で、SnS太陽電池の高効率化を妨げる要因のひとつが硫黄欠損であることを明らかにするとともに、これらを回避することで実際に高い変換効率が得られることを実証した。加えて、より実用化に適した薄膜の形態において硫黄欠損を低減するための方策として、硫黄プラズマを用いた成膜手法を構築した。これらは、SnS太陽電池の今後の研究において礎となる科学的知見である。さらに、硫黄プラズマを用いた成膜手法が他の硫化物へと適用できることも明らかとし、工業的な活用が期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, four main achievements were obtained. (1) XPS analysis of the SnS/MoO₃ interface revealed that Fermi level pinning, which lowers the open circuit voltage of SnS solar cells, is caused by sulfur deficiency and interface defects, and that high open circuit voltage can be obtained by avoiding them. (2) We have demonstrated that high open-circuit voltage can be obtained by avoiding the causes of Fermi level pinning. (3) We developed a new deposition method using sulfur plasma to fabricate SnS thin films with reduced sulfur deficiency. (4) The electronic structure of SnS and related materials was clarified by using angle-resolved photoemission spectroscopy.

研究分野：無機化学

キーワード：硫化スズ 太陽電池 スパッタリング 電子構造 硫黄欠損 フェルミ準位ピンング

1. 研究開始当初の背景

硫化スズ (SnS) は、太陽電池に適したバンドギャップと高い光吸収能を有しており、豊富な元素からなる。希少元素や有害元素を含むことから広い普及に至らなかった CIGS や CdTe 太陽電池を超えて、次世代のエネルギー源となりうると期待され、20 年以上にわたって太陽電池として研究されてきた。しかし、変換効率はその変換効率は最高でも 4.4% に留まっている。低い変換効率の原因となっているのは、SnS 太陽電池が生み出す開放電圧 (V_{oc}) が 300-400 mV と非常に低いことである[Suzuki, I., et al., J. Phys. Energy, 2022. 4(4).]。

太陽電池の光吸収体で生成した電子とホールは、擬フェルミ準位の分裂により分離される。開放電圧 (V_{oc}) はこの分裂幅によって決まるため、より高い V_{oc} を得るには、擬フェルミ準位がバンドギャップ内であるべく広く分裂する必要がある。従来の研究で、SnS と CdS 等のヘテロ界面では、SnS のフェルミ準位がほとんどシフトしないことが報告されており、SnS 固有の欠陥によるフェルミ準位ピンングが低い V_{oc} の原因となっている可能性がある [Schneikart, A., et al., J. Phys. D 2013. 46(30)]。

SnS 太陽電池の高効率化に向けては、そのようなフェルミ準位ピンングの原因を明らかにし、それらを解決した素子の作製方法を構築することが必要となる。

2. 研究の目的

(1) SnS のフェルミ準位ピンングに関する研究

前述したように、太陽電池用の光吸収材料のポテンシャルを測る上で、「フェルミ準位のとりうるエネルギー範囲がバンドギャップ内にどれだけ広がっているか」は変換効率を左右する重要な性質である。本研究では、代表者らが作製した n 型 SnS 薄膜と、仕事関数の大きな MoO_3 薄膜の界面を作製し、電子構造を XPS で観察することで、SnS のフェルミ準位が取りうるエネルギー範囲を明らかにした。また、SnS 薄膜についてこれまで報告された結果と比較することで、フェルミ準位ピンングの原因と、それを解決する方策について検討した。

(2) 高い V_{oc} を示す SnS 太陽電池に関する研究

①にて明らかになったフェルミ準位ピンングの原因を解消した太陽電池を作製し、SnS 太陽電池から高い V_{oc} を得ることを試みた。

(3) SnS 薄膜の作製に関する研究

SnS などの硫化物を薄膜化する際には、蒸気圧の高い硫黄が蒸発し、組成が硫黄欠損になりやすいことが知られている。本研究によって、SnS のフェルミ準位ピンングの原因は硫黄欠損に関連する欠陥であることが明らかになっており (後述)、太陽電池に適した SnS 薄膜を作製するには、硫黄欠損を低減する成膜手法の開発が不可欠である。本研究では、硫黄プラズマを重畳したスパッタリングによって高品質な SnS 薄膜を作製することを試みた。

(4) SnS および関連する材料の電子構造についての ARPES を用いた研究

半導体の電子構造を理解することは、その物性の起源を理解することに繋がる。そこで、本研究では当初計画していなかった取り組みではあるが、SnS および関連する材料の単結晶を対象に、角度分解光電子分光 (ARPES) を測定し、それらの電子構造の特徴を明らかにすることに取り組んだ。

3. 研究の方法

(1) SnS のフェルミ準位ピンングに関する研究

SnS を用いてフェルミ準位ピンングのない界面を形成することが可能なかを調べるため、劈開した n 型 SnS 単結晶の清浄表面と MoO_3 薄膜の接合を形成し、その界面の電子構造を X 線光電子分光 (XPS) により調べた (図 1)。 MoO_3 は仕事関数が大きい (6.9 eV)、n 型半導体と接合するとそのフェルミ準位を大きくシフトさせる特徴があることから選択した。なお、SnS 単結晶の劈開や MoO_3 薄膜の蒸着、XPS 測定などの一連のプロセスは、トランスファーロードで接続された複合チャンバー装置にて行い、サンプルは大気暴露されていない。

(2) 高い V_{oc} を示す SnS 太陽電池に関する研究

(1)の研究から、ハロゲンドーピング n 型 SnS 単結晶は、 MoO_3 との界面においてフェルミ準位のピンングを生じずに 1 eV もの大きなバンド屈曲を示すことが示された (後述)。このようなバンド屈曲からは 700-800 mV の V_{oc} が期待される。したがって、この接合を太陽電池へ応用することで従来の SnS 太陽電池が抱える低い V_{oc} という課題を克服し、高い開放電圧が実現できると期待される。SnS にはフラックス法にて作製した Br ド

一p n型 SnS 単結晶を用いた。の Br ドープ n型 SnS 単結晶を真空中で劈開し、厚さ 3 nm の MoO₃ 薄膜を抵抗熱蒸着した。なお、MoO₃ 層の電気伝導度は、蒸着源の MoO₃ 粉末をあらかじめ真空中でアニールすることで制御した。得られた MoO₃ 薄膜の上に、透明電極として Sn ドープ In₂O₃ (ITO) 薄膜を RF スパッタリングにて成膜し、背面電極に In-Ga 合金を用いて、図 1 で示す太陽電池素子を作製した。得られた素子の発電特性をの疑似太陽光を用いて調べた。

(3) SnS 薄膜の作製に関する研究

本研究では、SnS 焼結体をターゲットとしたスパッタリング (手法①) および、Sn 金属ターゲットをターゲットとしたスパッタリング (手法②) の 2 つに取り組んだ。いずれも、図 2 に示す硫黄プラズマ供給装置を用いた。

手法①: SnS 焼結体をスパッタリングターゲットとして、SiO₂ ガラス基板の上に薄膜を堆積した。硫黄プラズマは、スパッタリング中に薄膜堆積部へ供給した。

手法②: Sn 金属をターゲットとしてスパッタリングする際に、同時に硫黄プラズマを供給し、反応性スパッタリングとして SnS 薄膜を堆積した。

(4) SnS および関連する材料の電子構造についての ARPES を用いた研究

SnS 単結をサンプルとして、UVSOR (分子研) の BL7U ($h\nu=21$ eV) および、BL5U ($h\nu=60$ eV) にて、価電子帯のバンド構造の ARPES を測定した。単結晶を測定直前に 10⁻⁶ Pa 以下の真空中でへき開し、清浄表面を測定に供した。なお、SnS 単結晶に加えて、SnS_{1-x}Se_x 固溶体単結晶についても測定を実施した。

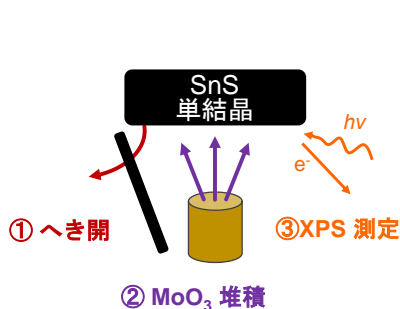


図 1 SnS 単結晶/MoO₃ 界面の XPS 解析の模式図

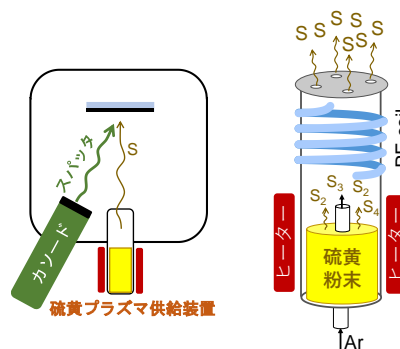


図 2 (左) 硫黄プラズマ供給装置を有するスパッタリングチャンバーと、(右) 硫黄プラズマ供給装置の模式図

4. 研究成果

(1) SnS のフェルミ準位ピニングに関する研究

図 3 に、XPS 測定から決定した n 型 SnS 単結晶/MoO₃ のバンドアラインメントを示す。SnS は界面において 1 eV の大きなバンド屈曲を示した。これは、SnS のフェルミ準位がバンドギャップのほぼ全域を自由にシフトしたこと、すなわち、フェルミ準位ピニングが存在しないことを意味しており、SnS 太陽電池から高い開放電圧を得ることが“原理的に”可能であることを示している。

Klein らが作製したヘテロ接合界面 (以後、従来の界面と呼ぶ) ではピニングの存在が報告されていた [Schneikart, A., et al., J. Phys. D 2013, 46(30)]。ピニングのなかった本研究の n 型 SnS 単結晶/MoO₃ 界面 (以後、本研究の界面) との違いを比較することで、なにがピニングをもたらすのかについてヒントを得ることができる。1 つ目のポイントは、従来の界面では SnS の多結晶膜を用いたのに対し、本研究の界面ではより高品質で格子欠陥が少ないと推測される SnS 単結晶を用いたことである。このことは、SnS 薄膜中に存在するアクセプター型欠陥が、従来の界面でのフェルミ準位ピニングの原因となったことを示唆している。2 つ目のポイントは、界面における SnS の表面準位の密度である。層状物質である SnS における単結晶の劈開面はファンデルワールス表面であり、ダングリングボンドが存在しない。したがって、単結晶を用いた本研究の界面は、ヘテロ接合であっても、ピニングの原因となりうる表面準位の密度が小さいと推察される。

以上より、フェルミ準位ピニングを排除し、高い開放電圧を示す SnS の界面を形成する上では、① SnS 中の格子欠陥を低減することが重要であろう。加えて、② 界面における SnS の表面準位を低減することも有効である。SnS 薄膜を用いた界面において②を実現するためには、ファンデルワールス面が表面となる配向の SnS 薄膜を用いてヘテロ接合を形成することや、ダングリングボンドが形成されづらいホモ接合を採用することが有効だと期待される。

(2) 高い V_{oc} を示す SnS 太陽電池に関する研究

図 4 に、真空中で $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ にて 5 時間アニールした MoO_3 粉末を蒸着源として、 MoO_3 薄膜を堆積することで作製した素子の発電特性を示す。得られた V_{oc} は最大で 437 mV であり、SnS を光吸収層として用いた太陽電池としては世界最大である。期待した $700\text{--}800\text{ mV}$ には達しなかったものの、これは n 型 SnS 単結晶中のドーパント濃度 ($\sim 6 \times 10^{19}\text{ cm}^{-3}$) が極めて高く、これによって特性が低下していることが原因だと推察される。フェルミ準位ピンギを避ける用な界面を作製できれば、従来の性能を超える高い V_{oc} が得られることを示せた。

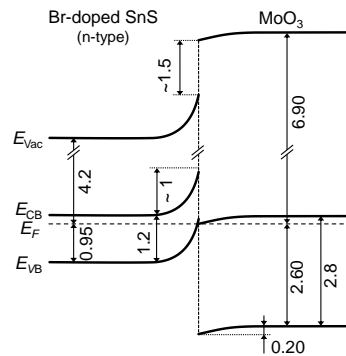


図 3 n 型 SnS 単結晶/ MoO_3 のバンドアラインメントの模式図

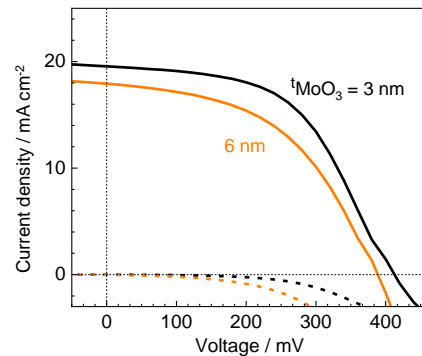


図 4 n 型 SnS 単結晶/ MoO_3 界面を用いて作製した素子の発電特性

(3) SnS 薄膜の作製に関する研究

手法①: 図 5 に、基板温度 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ において、SnS 焼結体をターゲットとしてスパッタした SnS 薄膜の XRD パターンと SEM 画像を示す。なお、ここでは、硫黄プラズマにおける硫黄粉末の加熱条件を変えている。硫黄加熱温度が $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下では硫黄が欠損しており、 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ では硫黄が過剰であることがわかる。 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ の際に最も化学量論組成に近づいている。以上より、硫黄加熱温度により得られる薄膜の組成を制御できることがわかる。また、このとき、XRD パターンのピークも最もシャープで、表面 SEM 像で見られる表面モフォロジーも平滑である。以上より、硫黄プラズマの供給は、硫黄欠損を低減し、かつ、モフォロジーが太陽電池に適した薄膜を得るのに適していることがわかる。

手法②: 図 6(a) に示すように、金属 Sn をターゲットし、硫黄プラズマを重畳した反応性スパッタリングによって、結晶性の高い SnS 薄膜が得られた。また、硫黄プラズマではなく、硫黄蒸気のみを供給した場合は、金属 Sn 膜が堆積したことから、SnS 薄膜を得るにはやはり反応性を高めた硫黄源の供給が重要であることがわかる。加えて、従来の SnS 焼結体を用いた手法では、基板加熱しない場合には、アモルファスの薄膜が得られていた。すなわち、硫黄プラズマを用いた反応性スパッタである本手法②は、基板温度が低くても結晶性の薄膜が得られることも特色である。このことは、耐熱温度の低い樹脂基板を用いてフレキシブル素子の作製を狙う際には大きなアドバンテージになるだろう。

なお、本手法②では、SnS に限らず、種々の硫化物 (ZnS 、 Cu_2S 、 WS_2) が堆積できることが予備的な実験により分かっている (図は非掲載)。従来の硫化物の薄膜化では、SnS と同様に硫黄の欠損が問題となっており、これらの解決策として H_2S ガス下での成膜やポストアニールがとられてきたが、H 不純物の混入や、ポストアニールによって均質に硫化がされないといった問題が生じていた。本手法は、単体の硫黄を供給するものであるから、このような問題が生じないため、硫化物への汎用的な成膜手法として発展することが期待できる。

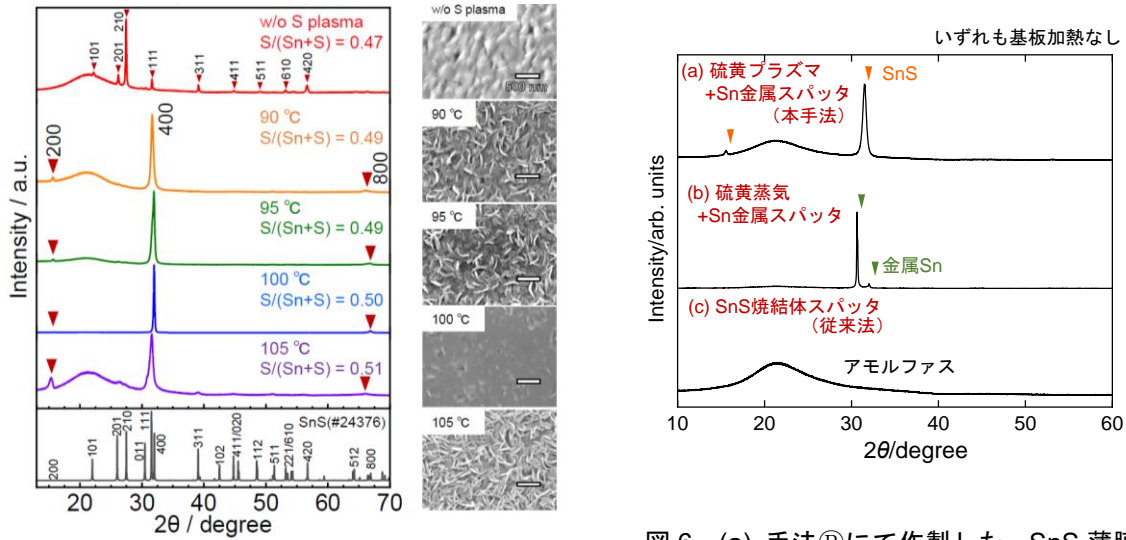


図5 手法①にて、基板温度 300 °Cにて、硫黄プラズマの運転条件（加熱条件）を変えて作製した場合の SnS 薄膜の XRD パターンと表面 SEM 像。

図6 (a) 手法②にて作製した、SnS 薄膜の XRD パターン。(b)硫黄蒸気のみを供給した場合。(c)SnS 焼結体をターゲットに用いた場合。なお、いずれの場合も基板は加熱していない。

(4) SnS および関連する材料の電子構造についての ARPES を用いた研究

ARPES 成果①：図 7(a)に示す成果は、 $\text{SnS}_{1-x}\text{Se}_x$ の価電子帯を ARPES により実測することで、ホールの有効質量の組成依存性を明らかにしたものである。 $\text{SnS}_{1-x}\text{Se}_x$ は熱電材料として高い期待が寄せられており、有効質量は熱電特性に大きな影響を与える物性であるが、これまでは第一原理計算のよる予測のみがされてきた。本研究では、これらを実験的に決定することができた。

ARPES 成果②：図 7(b)に示す成果は、光イオン化断面積の励起光エネルギー依存性を持ち、価電子帯トップ (VBM) への Sn 5s 軌道の寄与を実験的に明らかにしたものである。SnS の価電子帯には、Sn 5s のローンペアが寄与していることが第一原理計算によって示されていたが、これを初めて実験的に明らかにすることができた。

ARPES 成果③：図 7(c)に示す成果は、励起光を偏光させることで、価電子帯への p 軌道を明らかにしたものである。偏光 ARPES を用いて広いエネルギーの価電子帯の原子軌道を明確に同定した研究はこれまで例がなく、SnS をモデルケースとしてその有用性を示すことができた。

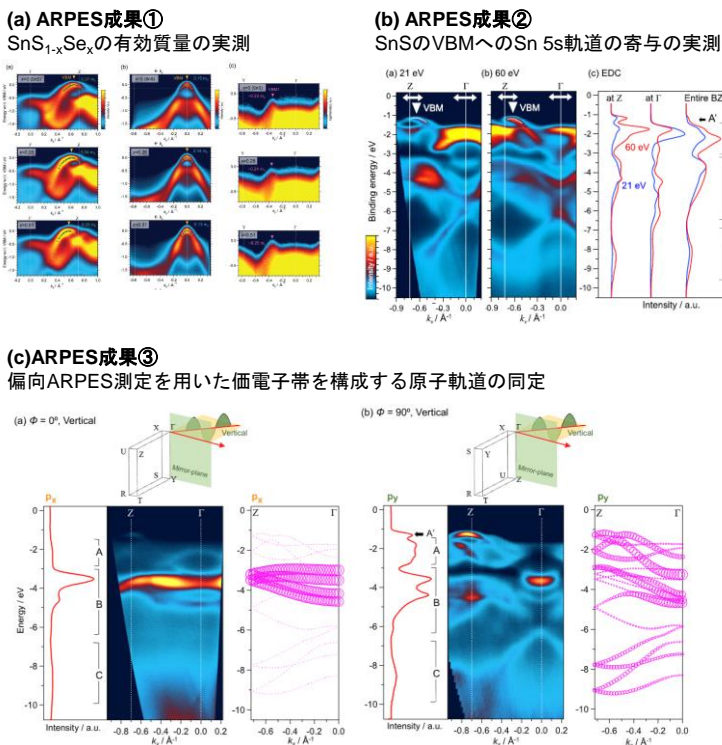


図7 (a-c) ARPES によって得られた成果の概略図

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Suzuki Issei	4. 巻 131
2. 論文標題 Carrier control in SnS by doping: A review	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 777 ~ 788
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.23098	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 Suzuki Issei, Kawanishi Sakiko, Tanaka Kiyohisa, Omata Takahisa, Tanaka Shin-ichiro	4. 巻 260
2. 論文標題 Experimental Identification of Atomic Orbital Contributions to SnS Valence Band using Polarization Dependent Angle Resolved Photoemission Spectroscopy	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 physica status solidi (b)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pssb.202200408	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 I. Suzuki, Z. Lin, S. Kawanishi, K. Tanaka, Y. Nose, T. Omata, S. Tanaka	4. 巻 24
2. 論文標題 Direct evaluation of hole effective mass of SnS-SnSe solid solutions with ARPES measurement	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Phys. Chem. Chem. Phys.	6. 最初と最後の頁 634-638
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1CP04553A	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 I. Suzuki, S. Kawanishi, K. Tanaka, T. Omata, S. Tanaka	4. 巻 4
2. 論文標題 Contribution of the Sn 5s state to the SnS valence band: direct observation via ARPES measurements	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Electronic Structure	6. 最初と最後の頁 25004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/2516-1075/ac6ea8	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 I. Suzuki, S. Kawanishi, T. Omata, H. Yanagi	4. 巻 4
2. 論文標題 Current status of n-Type SnS: Paving the way for SnS homojunction solar cells	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J. Phys. Energy	6. 最初と最後の頁 42002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/2515-7655/ac86a1	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 I. Suzuki, B. Huang, S. Kawanishi, T. Omata, A. Klein	4. 巻 126
2. 論文標題 Avoiding Fermi level pinning at SnS interface for high open-circuit voltage	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. C	6. 最初と最後の頁 20570
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.2c04212	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 I. Suzuki, S. Kawanishi, K. Tanaka, T. Omata, S. Tanaka	4. 巻 260
2. 論文標題 Experimental identification of atomic orbital contributions using polarization-dependent ARPES: SnS valence band as case study	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Phys. Status Solidi B	6. 最初と最後の頁 2200408
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pssb.202200408	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 I. Suzuki, Z. Lin, T. Nogami, S. Kawanishi, B. Huang, A. Klein, T. Omata	4. 巻 11
2. 論文標題 High open-circuit voltage in single-crystalline n-type SnS/MoO ₃ photovoltaics	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 APL Mater.	6. 最初と最後の頁 31116
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0143617	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 該当する

1. 著者名 Suzuki Issei, Lin Zexin, Kawanishi Sakiko, Tanaka Kiyohisa, Nose Yoshitaro, Omata Takahisa, Tanaka Shin-Ichiro	4. 巻 24
2. 論文標題 Direct evaluation of hole effective mass of SnS-SnSe solid solutions with ARPES measurement	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 634 ~ 638
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1CP04553A	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 鈴木一誓、川西咲子	4. 巻 10月号
2. 論文標題 ホモ接合によるSnS太陽電池の高効率化	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 クリーンエネルギー (日本工業出版)	6. 最初と最後の頁 21 ~ 28
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 無
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 Suzuki Issei, Kawanishi Sakiko, Bauers Sage R., Zakutayev Andriy, Lin Zexin, Tsukuda Satoshi, Shibata Hiroyuki, Kim Minseok, Yanagi Hiroshi, Omata Takahisa	4. 巻 5
2. 論文標題 N-Type Electrical Conduction in SnS Thin Films	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 125405
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.5.125405	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 該当する

1. 著者名 Kawanishi Sakiko, Suzuki Issei, Bauers Sage R., Zakutayev Andriy, Shibata Hiroyuki, Yanagi Hiroshi, Omata Takahisa	4. 巻 5
2. 論文標題 SnS Homojunction Solar Cell with n Type Single Crystal and p Type Thin Film	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Solar RRL	6. 最初と最後の頁 2000708 ~ 2000708
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/solr.202000708	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

〔学会発表〕 計27件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 野上 大一、鈴木 一誓、小俣 孝久
2. 発表標題 硫黄プラズマを援用したスパッタリングによる化学量論組成SnS薄膜の作製
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 2024年

1. 発表者名 茂田井 大輝、野上 大一、鈴木 一誓、小俣 孝久
2. 発表標題 Sn ターゲットと S プラズマの反応性スパッタリングによる SnS 薄膜の作製
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 2024年

1. 発表者名 鈴木 一誓、茂田井 大輝、野上 大一、小俣 孝久
2. 発表標題 硫黄プラズマを用いた反応性スパッタリングによる種々の硫化物薄膜の作製
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 2024年

1. 発表者名 茂田井大輝、野上大一、鈴木一誓、小俣孝久
2. 発表標題 金属スズと硫黄プラズマの反応性スパッタリングによるSnS 薄膜の作製
3. 学会等名 2023年度 多元系化合物・太陽電池研究会 年末講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 野上大一、鈴木一誓、小俣孝久
2. 発表標題 硫黄プラズマ援用スパッタリングを用いた化学量論組成SnS 薄膜の作製
3. 学会等名 2023年度 多元系化合物・太陽電池研究会 年末講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鈴木一誓
2. 発表標題 放射光角度分解光電子分光を用いた太陽電池・熱電材料SnSの電子状態研究
3. 学会等名 日本物理学会 第78回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鈴木一誓、リntaxシン、川西咲子、田中清尚、野瀬嘉太郎、小俣孝久、田中慎一郎
2. 発表標題 角度分解光電子分光による SnS-SnSe 混晶半導体の有効質量の直接評価
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第36回秋季シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鈴木一誓
2. 発表標題 n型硫化スズの作製と太陽電池への応用
3. 学会等名 素材プロセッシング第69委員会 第2分科会（新素材関連技術）第76回研究会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 野上大一、鈴木一誓、小俣孝久
2. 発表標題 硫黄プラズマ援用スパッタリング法による化学量論組成のSnS薄膜の作製
3. 学会等名 資源・素材学会 東北支部 2023年度春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 野上大一、鈴木一誓、小俣孝久
2. 発表標題 PGSカソードを用いたスパッタリング法によるSnS薄膜の作製
3. 学会等名 2023年 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 鈴木一誓、川西咲子、田中清尚、田中慎一郎、小俣 孝久
2. 発表標題 角度分解光電子分光によるSnS価電子帯の原子軌道同定
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第35回秋季シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木一誓、川西咲子、田中清尚、田中慎一郎、小俣 孝久
2. 発表標題 偏光依存ARPESを用いたSnS価電子帯の電子構造の解析
3. 学会等名 2022年 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 鈴木一誓
2. 発表標題 n型SnSの作製とホモ接合太陽電池への展開
3. 学会等名 2022年度 多元系化合物・太陽電池研究会 年末講演会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野上大一、鈴木一誓、小俣孝久
2. 発表標題 PGSカソードを用いたスパッタリング法によるSnS薄膜の作製
3. 学会等名 2023年 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 I. Suzuki, B. Huang, S. Kawanishi, T. Omata, A. Klein
2. 発表標題 Close to energy gap band bending at SnS interface
3. 学会等名 E-MRS 2022 Spring Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 I. Suzuki, S. Kawanishi, S. R. Bauers, A. Zakutayev, M. Kim, H. Yanagi, T. Omata
2. 発表標題 N-type SnS and its application to homojunction solar cells
3. 学会等名 PVSEC-33 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木一誓、リntaxシン、川西咲子、田中清尚、野瀬嘉太郎、小俣孝久、田中慎一郎
2. 発表標題 SnS-SnSe固溶体のホール有効質量のARPESによる直接評価
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 鈴木一誓、リntaxシン、野上大一、川西咲子、小俣孝久
2. 発表標題 n型SnS単結晶/MoO3接合を用いた太陽電池の高変換効率化
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 鈴木一誓、リntaxシン、野上大一、川西咲子、小俣孝久
2. 発表標題 n型SnS単結晶/MoO3接合を用いた太陽電池の変換効率の向上
3. 学会等名 日本セラミックス協会 2022年・年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 I. Suzuki, S. Kawanishi, S.R. Bauers, A. Zakutayev, H. Shibata, M. Kim, H. Yanagi, T. Omata
2. 発表標題 N-type conduction in Cl-doped SnS thin film
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木一誓、川西咲子、リntaxシン、小俣孝久、Binxiang Huang、Andreas Klein
2. 発表標題 SnS 単結晶/MoO ₃ 界面の電子構造と太陽電池への応用
3. 学会等名 第41回電子材料研究討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木一誓、川西咲子、小俣孝久、田中慎一郎
2. 発表標題 ARPESによるSnSの価電子帯の原子軌道の同定
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 リntaxシン、鈴木一誓、川西咲子、小俣孝久
2. 発表標題 n型SnS単結晶/MoO ₃ 接合の太陽電池特性
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 リntaxシン、鈴木一誓、川西咲子、小俣孝久
2. 発表標題 大きなバンド屈曲を示すn型SnS/MoO ₃ 接合の太陽電池への応用
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第34回秋季シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木一誓、川西咲子、小俣孝久、 田中慎一郎
2. 発表標題 ARPES による SnS の価電子帯の電子構造の解明
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第34回秋季シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 I. Suzuki, S. Kawanishi, S.R. Bauers, A. Zakutayev, H. Shibata, M. Kim, H. Yanagi, T. Omata
2. 発表標題 N-Type SnS Thin Films Applicable for Homojunction Solar Cells
3. 学会等名 2021 Virtual MRS Spring Meeting & Exhibit, Online (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 I. Suzuki, S. Kawanishi, S.R. Bauers, A. Zakutayev, H. Shibata, H. Yanagi, T. Omata
2. 発表標題 Fabrication of pn Homojunction of SnS and Its Photovoltaic Properties
3. 学会等名 2021 Virtual MRS Spring Meeting & Exhibit (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

東北大学 プレスリリース 『豊富な元素からなる硫化スズで 高効率太陽電池を開発できる可能性を発見 ~ 効率向上のカギを握る大きく曲がるバンド構造を実測 ~ 』
<https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2022/12/press20221202-01-sns.html>

東北大学 プレスリリース 『不純物ドーピングによる硫化スズ薄膜のn型化に成功 ~ 有害元素を含まない実用的な薄膜太陽電池の実現に期待 ~ 』
<https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2021/12/press20211213-03-SnS.html>

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	柳 博 (Yanagi Hiroshi) (30361794)	山梨大学・大学院総合研究部・教授 (13501)	

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