

令和 2 年 6 月 25 日現在

機関番号：53101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H04336

研究課題名(和文) バンドエンジニアリングで実現する世界最高効率Inフリー化合物薄膜太陽電池の開発

研究課題名(英文) Development of high efficiency Indium-free compound thin film solar cell by band engineering

研究代表者

荒木 秀明 (Araki, Hideaki)

長岡工業高等専門学校・物質工学科・教授

研究者番号：40342480

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：従来のカルコパイライト系化合物太陽電池材料に代わる光吸収層材料として、希少元素Inや毒性元素Seを含まない4元系材料Cu₂(Sn,Ge)S₃に着目し、Cu₂(Sn,Ge)S₃の物性解明と薄膜の作製技術の開発を行った。Cu₂(Sn,Ge)S₃バルク試料の合成と評価から、結晶構造やバンドギャップのGe組成依存性を明らかにするとともに、Ge組成の異なるCu₂(Sn,Ge)S₃薄膜を作製し、得られたCu₂(Sn,Ge)S₃薄膜とCdSバッファ層とのヘテロ接合太陽電池素子を形成し、外部量子効率の評価から、Ge組成を変化させることで光吸収端波長を制御できることを実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

次世代太陽電池としてCu(In,Ga)(S,Se)₂やCdTeなどの省資源な薄膜光吸収材料が注目されているが、希少元素や毒性を使用しており、環境負荷や資源の枯渇が懸念され、希少元素Inや毒性元素Seを含まない高効率太陽電池材料の開発が重要な課題となっている。本研究は、将来の太陽電池材料の新たな候補として、In資源の制約を受けないInフリー硫化物系薄膜太陽電池材料であるCu₂(Sn,Ge)S₃を用いた薄膜太陽電池の実現を目指して基礎研究を推進したものであり、いくつかの重要な基礎的知見を得ることができた。

研究成果の概要(英文)：In this study, a quaternary semiconductor material namely, Cu₂(Sn,Ge)S₃, which does not contain the rare element In or the toxic element Se, has been considered as a light absorption layer material for solar cells. The synthesis of Cu₂(Sn,Ge)S₃ and evaluation of its physical properties were carried out. In addition, the study focused on the development of Cu₂(Sn,Ge)S₃ thin film fabrication technology. Bulk crystal samples of Cu₂(Sn,Ge)S₃ were synthesized. The dependence of the crystal structure and band gap on the composition ratio of Ge/(Ge+Sn) was clarified. Heterojunction solar cells with Cu₂(Sn,Ge)S₃ thin films having different composition ratios of Ge/(Sn+Ge) and a CdS buffer layer were fabricated. The dependence of the external quantum efficiency on the film composition was demonstrated.

研究分野：電子・電気材料工学

キーワード：太陽電池 硫化物 バンドギャップ制御 薄膜 カルコゲン化合物 インジウムフリー 銅錫ゲルマニウム硫化物

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

太陽電池が将来のエネルギー源として中心的な役割を果たすために、変換効率の向上とともに大規模量産可能な資源的制約を受けない薄膜太陽電池の実現が望まれている。すでに省資源タイプの薄膜太陽電池として $\text{Cu}(\text{In}, \text{Ga})\text{Se}_2$ (CIGS) 薄膜太陽電池が知られているが、希少元素インジウム (In)、毒性元素セレン (Se) を含むので、大規模量産時には環境負荷や希少資源の枯渇が懸念され、In や Se を含まない高効率で省資源性に優れた太陽電池材料として、 $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS) などのインジウムフリー材料の開発が活発になっている。

本研究では、新たな太陽電池光吸収層材料として、希少元素 In や毒性元素 Se を含まない $\text{Cu}_2(\text{Sn}, \text{Ge})\text{S}_3$ (CTGS) に着目し、インジウムフリー材料では実現困難であった高効率で省資源性に優れた薄膜太陽電池を実現し、大規模量産可能な太陽電池実現に向けて足がかりを構築することで、将来の材料資源とエネルギー資源の問題の解決を目指した。

これまでに研究代表者は、2011年に世界に先駆けて $\text{Cu}_2(\text{Sn}, \text{Ge})\text{S}_3$ 太陽電池のベースである Cu_2SnS_3 (CTS) 太陽電池において 1% を超える発電に成功し、2015年には CTS 太陽電池の当時報告されている世界最高効率を報告するなど、CTS、CTGS 系太陽電池研究に取り組んできた。今後、さらなる特性向上のために基礎研究を進めていく必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、従来のカルコパイライト系化合物太陽電池材料の $\text{Cu}(\text{In}, \text{Ga})(\text{S}, \text{Se})_2$ に代わる光吸収層材料として、希少元素 In や毒性元素 Se を含まない 4 元系材料 $\text{Cu}_2(\text{Sn}, \text{Ge})\text{S}_3$ に着目した。 $\text{Cu}_2(\text{Sn}, \text{Ge})\text{S}_3$ 薄膜の作製技術の確立と物性解明による材料開発及び Ge 組成制御によるバンドエンジニアリングを用いて最適なデバイス構造を検討するために、 $\text{Cu}_2(\text{Sn}, \text{Ge})\text{S}_3$ バルク結晶試料の合成を行い、X 線回折測定や拡散反射率測定による物性評価から結晶構造やバンドギャップの Ge/(Ge+Sn) 組成比依存性を明らかにするとともに、Ge/(Sn+Ge) 組成比の異なる $\text{Cu}_2(\text{Sn}, \text{Ge})\text{S}_3$ 薄膜を作製し、CdS バッファ層とのヘテロ接合太陽電池素子を形成することで、光起電力特性の組成比依存性について調査することを目的とした。

さらに、バンドエンジニアリングに必要な Ge/(Sn+Ge) 組成比を制御した薄膜成長技術の開発に取り組み、高効率なインジウムフリー薄膜太陽電池を実現するための基礎技術の確立を目指した。

3. 研究の方法

In フリー化合物を用いた高効率薄膜太陽電池の実現を目指して、 $\text{Cu}_2(\text{Sn}, \text{Ge})\text{S}_3$ の物性解明と薄膜作製技術の開発として、以下の課題に取り組んだ。

(1) $\text{Cu}_2(\text{Sn}, \text{Ge})\text{S}_3$ バルク試料の合成と物性評価

$\text{Cu}_2(\text{Sn}, \text{Ge})\text{S}_3$ バルク試料の合成に先立ち、 Cu_2SnS_3 (CTS)、 Cu_2GeS_3 (CGS) の合成を行った。CTS、CGS の化学両論組成となるように Cu (6N)、S (6N) と Sn (6N) あるいは Ge (6N) を石英アンブル内に真空封入し、電気炉にて 1000°C まで加熱溶解後、650°C まで降温して 1 週間保持することで CTS および CGS バルク試料を合成した。得られた CTS と CGS を粉砕し、粉末 X 線回折により結晶構造評価を行い、単斜晶構造の CTS および CGS が得られたことを確認した。CTGS の Ge/(Ge+Sn) 組成比が $x=0\sim 1.0$ となるように CTS と CGS を混合させて石英アンブルに真空封入後、650°C で 2 週間保持することで固相反応させ、CTGS 試料を作製した。このように得られた CTGS 試料は粉砕し、粉末 X 線回折による結晶構造解析を行うとともに、拡散反射率の測定によるバンドギャップ E_g の評価を行い、CTGS のバンドギャップ E_g に対する Ge 組成依存性を調べた。

(2) $\text{Cu}_2(\text{Sn}, \text{Ge})\text{S}_3$ 薄膜と薄膜太陽電池の作製

同時蒸着法により作製された平滑で緻密な Cu_2SnS_3 薄膜を前駆体薄膜として用いて、 GeS_2 とともに加熱し、硫化ゲルマニウム雰囲気中での熱処理による Sn と Ge の置換によって緻密で大粒径な $\text{Cu}_2(\text{Sn}, \text{Ge})\text{S}_3$ 薄膜の作製を目指して、作製条件の検討を行った。また、このようにして得られた $\text{Cu}_2(\text{Sn}, \text{Ge})\text{S}_3$ 薄膜を用いて、SLG/Mo/ $\text{Cu}_2(\text{Sn}, \text{Ge})\text{S}_3$ /CdS/ZnO:Al/Al 構造の太陽電池素子を形成し、AM1.5、100mW/cm² の照射下において光起電力測定を行うとともに外部量子効率について評価を行った。

(3) 同時蒸着による $\text{Cu}_2(\text{Ge}, \text{Sn})\text{S}_3$ 薄膜の組成制御技術の開発

蒸着装置に Ge 蒸発源を追加し、Cu、Sn、Ge、S の 4 元同時蒸着を可能とする装置改良を行い、Ge/(Ge+Sn) 組成比を Ge セル温度、Sn セル温度によって制御し、緻密な $\text{Cu}_2(\text{Sn}, \text{Ge})\text{S}_3$ 薄膜の作製ができる環境を構築した。CTGS 薄膜太陽電池の実現に向けて、CTGS 薄膜の作製条件やバンドギャップグレーディングのための Ge 傾斜組成を有する薄膜の作製方法の確立を目指し、Cu、Sn、Ge、S の同時蒸着中における Ge、Sn 製膜レート制御による同時蒸着膜の Ge 組成比を制御する方法を検討するとともに、得られた同時蒸着薄膜に対する熱処理 (硫化処理) による結晶性向上について検討を行った。

(4) Na 添加による太陽電池の高効率化

$\text{Cu}_2(\text{Sn}, \text{Ge})\text{S}_3$ 系材料のベースとなる Cu_2SnS_3 薄膜において、Na フリーガラス基板 (EAGLE XG) を用いて、Na 添加の影響について調査した。 Cu_2SnS_3 同時蒸着膜に NaF を積層し、熱処理をすることによって結晶成長を行い、得られた Cu_2SnS_3 薄膜を用いて Glass/Mo/ Cu_2SnS_3 /CdS/ZnO:Al/Al 構造の太陽電池を作製し、光起電力特性を評価した。

4. 研究成果

In フリー化合物を用いた高効率薄膜太陽電池の実現を目指して、 $\text{Cu}_2(\text{Sn}, \text{Ge})\text{S}_3$ 化合物のバルク試料の合成や薄膜の作製技術の確立とともに最適なデバイス作製技術を検討し、以下の知見を得た。

(1) $\text{Cu}_2(\text{Sn}, \text{Ge})\text{S}_3$ バルク試料の合成と物性評価

$\text{Cu}_2(\text{Sn}, \text{Ge})\text{S}_3$ バルク結晶試料の合成を行い、得られた CTS ($x=0$) 及び CGS ($x=1.0$) は、ともに単斜晶構造の Cu_2SnS_3 (ICDD PDF#01-070-6338) 及び Cu_2GeS_3 (ICDD PDF#01-088-0827) に帰属された。図 1 にリートベルト解析により決定された格子定数の Ge 組成依存性を示す。 $\text{Cu}_2(\text{Sn}, \text{Ge})\text{S}_3$ 系は、固溶体を形成し、Ge 組成比 x ($=\text{Ge}/(\text{Ge}+\text{Sn})$) が増加するに伴って、格子定数が連続的に減少することを明らかにした。また、拡散反射率測定 of Tauc プロットから光吸収端波長を見積もり、 $\text{Cu}_2(\text{Sn}, \text{Ge})\text{S}_3$ のバンドギャップ E_g の Ge/(Ge+Sn) 組成比依存性を調べた結果、組成比 $\text{Ge}/(\text{Ge}+\text{Sn}) = 0.0 \sim 1.0$ に対して、 $E_g = 0.86 \sim 1.53$ eV と連続的に変化し、Ge 組成を変化させることでバンドギャップを制御できることを明らかにした (図 2)。

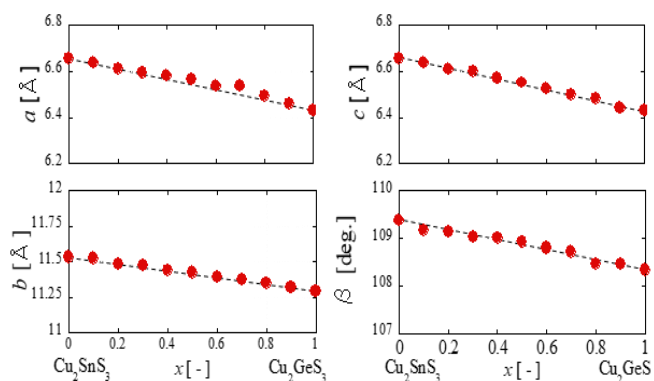


図 1 $\text{Cu}_2(\text{Sn}, \text{Ge})\text{S}_3$ の格子定数の Ge 組成依存性

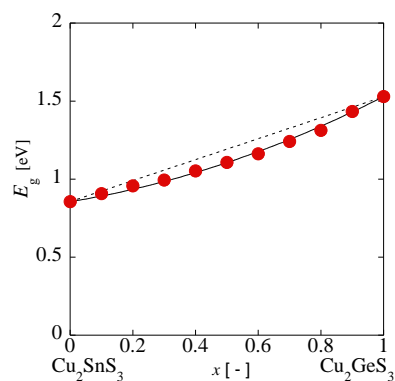


図 2 $\text{Cu}_2(\text{Sn}, \text{Ge})\text{S}_3$ の E_g の組成依存性

(2) $\text{Cu}_2(\text{Sn}, \text{Ge})\text{S}_3$ 薄膜と薄膜太陽電池の作製

同時蒸着法により作製した Cu_2SnS_3 薄膜や Cu_2S 薄膜を前駆体薄膜として用いて、 GeS_2 とともに加熱することで、 $\text{Cu}_2(\text{Sn}, \text{Ge})\text{S}_3$ 薄膜を得ることに成功した (図 3)。得られた $\text{Cu}_2(\text{Sn}, \text{Ge})\text{S}_3$ 薄膜を用いて、SLG/Mo/ $\text{Cu}_2(\text{Sn}, \text{Ge})\text{S}_3$ /CdS/ZnO:Al/Al 構造の太陽電池素子を形成し、AM1.5, 100mW/cm² の照射下において光起電力測定を行ったところ、 $\text{Ge}/(\text{Sn}+\text{Ge})=0.14$ の試料において、最も良好な光起電力特性が得られ、開放電圧 $V_{oc}=0.292\text{V}$ 、短絡電流密度 $J_{sc}=29.3\text{mA}/\text{cm}^2$ 、曲線因子 $\text{FF}=0.402$ 、変換効率 $\text{PCE}=3.43\%$ を得た。また、外部量子効率の測定から、図 4 に示すように Ge 組成の増加によるバンドギャップの変化に伴って、光吸収端波長が短波長側へシフトしており、Ge 組成を変化させることで、太陽電池の光吸収端波長を制御できることが実証された。

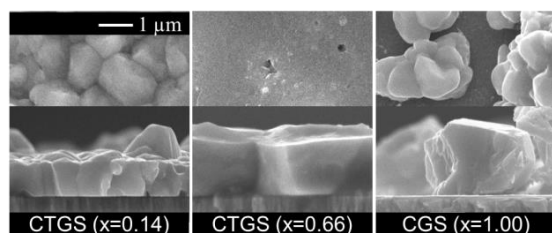


図 3 得られた $\text{Cu}_2(\text{Sn}, \text{Ge})\text{S}_3$ 薄膜の表面及び断面 SEM 像

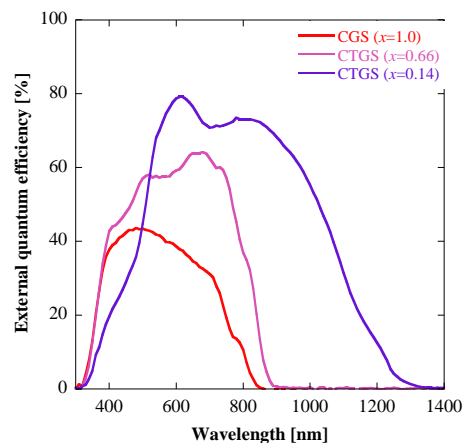


図 4 $\text{Cu}_2(\text{Sn}, \text{Ge})\text{S}_3$ 太陽電池の外部量子効率特性。Ge 組成の増加に伴って光吸収端波長が短波長側へシフトしている。

(3) 同時蒸着による $\text{Cu}_2(\text{Ge}, \text{Sn})\text{S}_3$ 薄膜の組成制御技術の開発

Cu , Sn , Ge , S の 4 元同時蒸着を可能とする装置改良を行い, $\text{Ge}/(\text{Ge}+\text{Sn})$ 組成比を Ge セル温度, Sn セル温度によって制御し, 緻密な $\text{Cu}_2(\text{Sn}, \text{Ge})\text{S}_3$ 薄膜の作製ができる環境を構築した。同時蒸着により, 基板温度 300°C で, Sn と Ge の K セル温度を変えることで, Sn 及び Ge の堆積速度 $0.0\text{--}0.38 \text{ \AA/s}$ で変化させて, $\text{Cu}_2(\text{Ge}, \text{Sn})\text{S}_3$ 薄膜を Mo/SLG 基板上に堆積した。図 5 に得られた同時蒸着 CTGS 薄膜における $x=\text{Ge}/(\text{Sn}+\text{Ge})$ 組成の製膜レート $[\text{mol/s}]$ 比に対する依存性を示す。製膜レート比 ($\text{Ge rate}/(\text{Sn rate} + \text{Ge rate})$) の増加に伴って, 得られる薄膜中の Ge 組成比も比例して増加しており, 蒸着源の K セルからの蒸発レートを制御することで, 任意の $\text{Ge}/(\text{Sn}+\text{Ge})$ 組成を有する $\text{Cu}_2(\text{Ge}, \text{Sn})\text{S}_3$ 薄膜を得ることができることがわかる。 Ge 組成比が高い領域で Ge の製膜レートから期待される Ge 組成比より実際の Ge 組成比が若干低くなるのは, Ge 成分が薄膜から蒸気圧の高い GeS 等の硫化物として再蒸発していることに起因すると考えられる。

このようにして得られた薄膜に対して, 到達温度 600°C , 保持時間 10 分の条件下で硫化処理を行い, 熱処理(硫化)前後の試料に対し, ラマン分光測定と XRD 測定による評価を行ったところ, 熱処理前の同時蒸着膜の $\text{Ge}/(\text{Ge}+\text{Sn})=0.0$ の Cu_2SnS_3 薄膜において, 結晶構造は monoclinic 構造のみでなく, tetragonal や cubic 構造も観察されたことから, 混合物になっていることが示唆された。特に $\text{Ge}/(\text{Ge}+\text{Sn})=0.3$ 以上になると, Cu_2S などの異相が観察され, $\text{Cu}_2(\text{Ge}, \text{Sn})\text{S}_3$ に加えて異相も形成されやすいことが示唆された。一方, これらの薄膜に対して熱処理(硫化処理)を行うと, monoclinic の結晶構造が支配的になり, 異相も観察されず, 単一の $\text{Cu}_2(\text{Ge}, \text{Sn})\text{S}_3$ が得られていることが確認され, 熱処理(硫化処理)は $\text{Cu}_2(\text{Ge}, \text{Sn})\text{S}_3$ 薄膜の単相化に重要なプロセスであることを明らかにした。

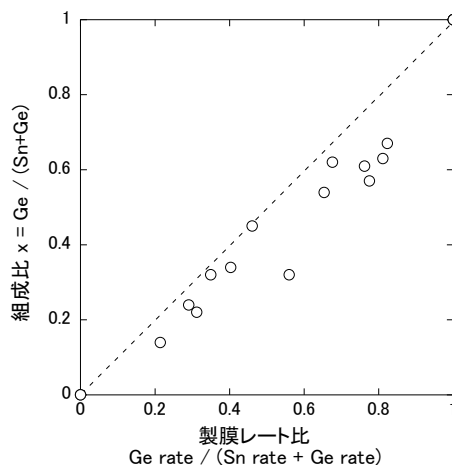


図 5 同時蒸着法による $\text{Cu}_2(\text{Ge}, \text{Sn})\text{S}_3$ 薄膜作製時の $\text{Ge}/(\text{Ge}+\text{Sn})$ 組成比の製膜レート依存性

(4) Na 添加による太陽電池の高効率化

$\text{Cu}_2(\text{Sn}, \text{Ge})\text{S}_3$ 系薄膜のベースとなる Cu_2SnS_3 薄膜において, Na フリーガラス基板 (EAGLE XG) を用いて, Cu_2SnS_3 同時蒸着膜に NaF を積層し, 熱処理をすることによって結晶成長を行い, Na 添加の影響について検討した。Na 添加した CTS や $\text{Cu}/\text{Sn} < 2$ の Sn 過剰な組成の CTS 薄膜において, 熱処理を行うと薄膜の結晶成長が観察されたが, Sn 過剰でない組成においては, Na 添加による著しい結晶成長は見られなかった。これらの結果から過剰な Sn 組成と Na の存在が Cu_2SnS_3 の結晶成長を促進することが示唆された(図 6)。また, 図 7 に示すように, Na を含まない Cu_2SnS_3 薄膜を用いて作製された太陽電池素子は, 良好な光起電力特性を示さなかったが, Sn 過剰組成 $\text{Cu}/\text{Sn}=1.81$ の Na 添加した Cu_2SnS_3 薄膜を用いて作製された太陽電池素子は良好な光起電力特性を示し, 開放電圧 242mV , 短絡電流密度 $26.5\text{mA}/\text{cm}^2$, 曲線因子 0.523 , および変換効率 3.35% が得られた。さらに Cu_2GeS_3 薄膜においても Cu_2SnS_3 系と同様に Na 添加しなかった試料と比較したところ, Na 添加した試料において光電変換特性が向上することを見出した。同時蒸着製膜後の Cu_2SnS_3 や Cu_2GeS_3 薄膜の熱処理時に Na を薄膜に添加することによって, 結晶成長が促進されるとともに, 光電変換特性が向上することが明らかとなり, $\text{Cu}_2(\text{Sn}, \text{Ge})\text{S}_3$ 薄膜太陽電池の高効率化のための新たな指針を得ることができた。

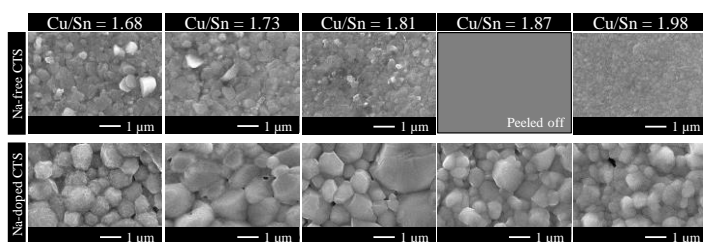


図 6 Cu/Sn 組成比の異なる Cu_2SnS_3 薄膜に対して, 熱処理時の Na 添加の有無による結晶成長を比較した表面 SEM 像

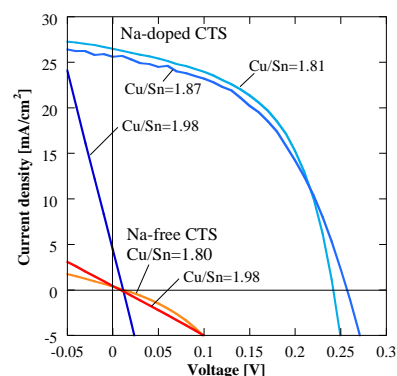


図 7 Cu_2SnS_3 太陽電池の光起電力特性の Na 添加の比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 13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 Shohei Sasagawa, Genki Nishida, Akiko Takeuchi, Hironori Katagiri, Hideaki Araki	4. 巻 57
2. 論文標題 Effect of sodium addition on CTS thin-film solar cells fabricated on alkali-free glass substrates	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 08RC11-1 - 5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.08RC11	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 Naoya Aihara, Hideaki Araki, Kunihiko Tanaka	4. 巻 255
2. 論文標題 Excitonic and Band-to-Band Transitions in Temperature-Dependent Optical Absorption Spectra of Cu ₂ SnS ₃ Thin Films	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physica Status Solidi (B)	6. 最初と最後の頁 1700304-1 - 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pssb.201700304	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 Hideaki Araki, Masaki Yamano, Genki Nishida, Akiko Takeuchi, Naoya Aihara, Kunihiko Tanaka	4. 巻 -
2. 論文標題 Synthesis and characterization of Cu ₂ Sn _{1-x} GexS ₃	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physica Status Solidi C	6. 最初と最後の頁 1600199
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pssc.201600199	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 Shohei Sasagawa, Aimi Yago, Ayaka Kanai, and Hideaki Araki	4. 巻 14
2. 論文標題 Cu ₂ (Sn _{1-x} Gex)S ₃ solar cells prepared via co-deposition and annealing in germanium sulfide and sulfur vapor	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physica Status Solidi C	6. 最初と最後の頁 1600193
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pssc.201600193	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52件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 15件）

1. 発表者名 Shohei Sasagawa, Genki Nishida, Akiko Takeuchi, Hironori Katagiri, Hideaki Araki
2. 発表標題 EFFECT OF SODIUM ADDITION FOR CTS THIN-FILM SOLAR CELLS FABRICATED ON AN ALKALI-FREE GLASS SUBSTRATE
3. 学会等名 27th International Photovoltaic Science and Engineering Conference and Exhibition(PVSEC-27) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hideaki Araki, Shohei Sasagawa, Yoji Akaki, Akiko Takeuchi, Hironori Katagiri
2. 発表標題 Effects of sodium on Cu ₂ SnS ₃ thin films prepared by co-evaporation
3. 学会等名 The 26th edition of the International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-26) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Shohei Sasagawa, Aimi Yago, Ayaka Kanai, Hideaki Araki
2. 発表標題 Cu ₂ (Sn _{1-x} Gex) ₃ solar cells prepared via co-evaporation and annealing in germanium sulfide and sulfur vapor
3. 学会等名 International Conference on Ternary and Multinary Compounds, ICTMC-20 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hideaki Araki, Masaki Yamano, Genki Nishida, Akiko Takeuchi, Naoya Aihara, Kunihiko Tanaka
2. 発表標題 Synthesis and characterization of Cu ₂ Sn _{1-x} GexS ₃
3. 学会等名 International Conference on Ternary and Multinary Compounds, ICTMC-20 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hideaki Araki, Ayaka Kanai, Shohei Sasagawa, Akiko Takeuchi, Hironori Katagiri
2. 発表標題 CTS-based thin-film solar cells prepared via co-evaporation
3. 学会等名 Thin Films 2016, The 8th International Conference on Technological Advances of Thin Films & Surface Coatings (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 荒木秀明, 他	4. 発行年 2018年
2. 出版社 情報技術協会	5. 総ページ数 556
3. 書名 次世代の太陽電池・太陽光発電 - その発電効率向上, 用途と市場の可能性 - (分担執筆「第3章 第6節 CTS系太陽電池」)	

〔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
連携研究者	赤木 洋二 (Akaki Yoji) (10321530)	都城工業高等専門学校・電気情報工学科・准教授 (57601)	
連携研究者	中村 重之 (Nakamura Shigeyuki) (80207878)	津山工業高等専門学校・電気電子工学科・教授 (55301)	
連携研究者	田中 久仁彦 (Tanaka Kunihiko) (30334692)	長岡技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授 (13102)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	片桐 裕則 (Katagiri Hironori) (30149918)	長岡工業高等専門学校・電気電子システム工学科・教授 (53101)	
連携研究者	竹内 麻希子 (Takeuchi Akiko) (60413754)	長岡工業高等専門学校・電気電子システム工学科・准教授 (53101)	
連携研究者	島宗 洋介 (Shimamune Yosuke) (50417408)	長岡工業高等専門学校・電気電子システム工学科・准教授 (53101)	