

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02680

研究課題名（和文）積極的欠陥制御による高効率・有毒・希少元素フリー薄膜太陽電池の創生

研究課題名（英文）Creation of high-efficiency, toxic- and rare-element-free thin-film solar cells by defect control

研究代表者

田中 久仁彦（Tanaka, Kunihiko）

長岡技術科学大学・工学研究科・教授

研究者番号：30334692

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,700,000円

研究成果の概要（和文）：Cu₂SnS₃(CTS)、Cu₂Sn_{1-x}GexS₃(CTGS)を光吸収層とする太陽電池は高効率・有毒希少元素フリー・環境調和・低コスト太陽電池となりうる。しかし、現状のCTS、CTGS太陽電池の発電効率は理論効率よりはるかに低い。そこで、効率改善の指針を得るために発光分光により効率低下・効率改善に寄与する欠陥の検討を行った。発光分光より明らかになった欠陥は室温より浅く効率低下要因にはならないこと、キャリア供給源となり効率改善に寄与する可能性があること、Ge含有量により浅い欠陥の深さがほとんど変わらずCTS、CTGSは太陽電池光吸収層材料として優れていることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Cu₂SnS₃(CTS)、Cu₂Sn_{1-x}GexS₃(CTGS)は太陽電池光吸収層材料として注目されているものの、太陽電池素子作製の研究が中心であり発電効率に大きな影響を与える欠陥の研究はあまり進んでいない。特に発光分光観測による欠陥の解析はほとんど行われていない。本研究では発光分光により発電効率に影響を与える欠陥に関する知見を新たに得ることができた。したがってCTS、CTGS薄膜太陽電池の高効率化に対する有益な情報を提供できたといえる。

研究成果の概要（英文）：Solar cells which absorption layer is Cu₂SnS₃ (CTS) and Cu₂Sn_{1-x}GexS₃ (CTGS) can be highly efficient, non-toxic, rare-element-free, environmentally friendly, and low-cost solar cells. However, the current power conversion efficiency of CTS and CTGS solar cells is much lower than the theoretical efficiency. In order to obtain a guideline for improving the efficiency, the defects that contribute to the efficiency reduction or improvement were investigated by observation of photoluminescence(PL). The defects revealed by PL observation are shallower than room temperature and are not a cause of efficiency reduction, and may contribute to efficiency improvement as a carrier supply source. In addition, the depth of shallow defects hardly changed with Ge content. Those facts indicate that CTS and CTGS are excellent as a solar cell light absorbing layer material.

研究分野：半導体光物性

キーワード：環境調和半導体 薄膜太陽電池 半導体光物性 発光スペクトル

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

Cu_2SnS_3 (CTS)、 $\text{Cu}_2\text{Sn}_{1-x}\text{Ge}_x\text{S}_3$ (CTGS)を光吸収層とする太陽電池は高効率・有毒希少元素フリー・環境調和・低コスト太陽電池となりうる。CTS 太陽電池では Cu/Sn 比最適化、Na 添加で 4.8% への効率改善が⁽¹⁾、Sn の一部を Ge で置換した CTGS 太陽電池ではバンドギャップが広がり効率 6.8% が実現した⁽²⁾。しかし、これらは理論効率の約 30% より遥かに低い。効率を改善するためには効率低下要因となる欠陥を排除し、効率改善につながる欠陥を取り入れる必要がある。

2. 研究の目的

以上の背景を踏まえ、本研究では欠陥の効果を明らかにするために Cu/IV 族元素比を変えた CTS・CTGS バルク多結晶、実際に太陽電池に用いる CTS、CTGS 薄膜からの光励起発光(PL)スペクトルを観測することで欠陥が作る準位が効率低下・改善のいずれに寄与するのかを検討し、高効率化のために導入・排除すべき欠陥を明らかにすること、この結果を基に、高効率化に適切な欠陥を導入・排除した CTS・CTGS 薄膜を用いて太陽電池を作製し、高効率・有毒希少元素フリー・環境調和・低コスト薄膜太陽電池を実現することを当初の目的とした。

3. 研究の方法

本研究では CTGS バルク多結晶、Na 添加 CTS 薄膜、CTGS 薄膜ならびに CTS 薄膜太陽電池の PL スペクトルの観測を行った。CTGS 多結晶バルクは固相成長法により作製した。CTS 薄膜は電子ビーム蒸着法で、CTGS 薄膜は RF マグネトロンスパッタ法で前駆体を作製した後に S 雰囲気下で加熱処理 (= 硫化) することで作製した。CTS 薄膜太陽電池は CTS 光吸収層薄膜上に化学溶液堆積法で CdS バッファ層を、その上に RF マグネトロンスパッタリング法で Al 添加 ZnO を積層して作製した。

PL スペクトルは 75 cm ポリクロメータと InGaAs CCD により観測した。試料の励起には $\text{Nd}^{3+}\text{YVO}_4$ レーザーの第二高調波(532 nm)を用いた。

4. 研究成果

4 - 1 Na 添加 CTS 薄膜の PL スペクトルの観測⁽³⁾

CTS は硫化温度により monoclinic、cubic、tetragonal など複数の結晶構造をとることが知られており、また、monoclinic が効率よく発電することが知られている。そこで、硫化温度が異なる CTS 薄膜の PL スペクトルを観測することで結晶構造の違い (構造的欠陥) による発光の変化、ならびに欠陥準位の検討を行った。

Fig. 1 に異なる硫化温度で作製した CTS 薄膜の 6K における PL スペクトルを示す。硫化温度 520°C、530°C の試料は発光が非常に弱く広いことがわかる。それに対し、硫化温度が 570°C、600°C の試料は 0.83、0.86、0.94 eV にピークを持つ狭く強い発光が観測されている。ラマン散乱の測定結果より、硫化温度が高い場合は高効率となる monoclinic 単相であるのに対し、低い場合は cubic 相も含まれていることがわかっており、cubic 相を含む薄膜で PL が観測されないということは光励起によりキャリアが生成されにくい、あるいは生成してもすぐに消滅してしまうことに対応しており、高効率化には cubic 相をなくす必要があることが分かる。

Fig. 2 に硫化温度 600°C 試料のスペクトルを分解したものを示す。励起強度依存性からそれぞれのピークの起源を調べた結果、p1 ~ p3 は励起子に起因する発光であり、それ以外はドナーアクセプタ対(DAP)再結合発光に起因するものであることがわかった。また、同様に 520°C 試料のスペクトルも二つの DAP 再結合発光 p7'、p8' からなることがわかった。PL の試料温度依存性から求めた DAP 再結合発光の活性化エネルギーは p4 = 6.14 meV、p5 = 6.65 meV、p6 = 26.65 meV、p7 = 19.38 meV、p8 = 15.27 meV、p7' = 11.19 meV、p8' = 20.46 meV であり、いずれも室温に相当する 26 meV 程度以下となるため、キャリアの供給源

になりうることで、発電効率の低下には大きく影響しないことが分かった。また、高温硫化試料、つまり、発電効率が高効率となる monoclinic 相のみからなる試料は室温でも PL スペクトルを示していたことから、常温 PL スペクトルを観測することで結晶構造と太陽電池を素子化した時の効率の高低を判定できることが分かった。

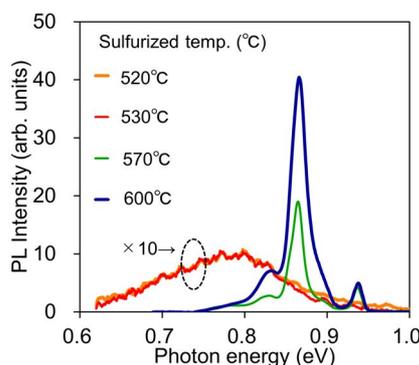


Fig. 1 PL spectra from CTS thin films depending on sulfurized temperature.

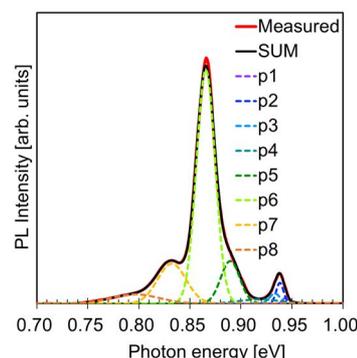


Fig. 2 Resolved PL spectrum of the CTS thin film sulfurized at 600°C.

4 - 2 CTGS 多結晶バルクの PL スペクトルの観測^(4,5)

CTGS 多結晶バルクについては単接合太陽電池で最高効率となるバンドギャップ 1.4 eV 程度に対応する $Ge/(Sn+Ge=IV) \approx 0.8$ ならびに、現在 CTGS 太陽電池において最高効率が報告されている $Ge/IV \approx 0.2$ について検討を行った⁽²⁾。

$Ge/IV \approx 0.8$ では $Cu/IV = 1.85$ (Cu-poor $\cdot Ge/IV = 0.82$)、 1.92 (Cu-stoichiometric $\cdot Ge/IV = 0.81$)、 2.25 (Cu-rich $\cdot Ge/IV = 0.81$) について分析を行った。Fig. 3 に各 Cu/IV における PL の試料温度依存性を示す。Fig. 3 に示す様に、全試料で約 1.4 eV で鋭いピーク(P1)とそれより低エネルギー側にやや鋭いピーク(P2)が観測された。各組成の P1 と P2 を比較すると、Cu-rich 組成で発光強度が弱いことが分かる。したがって、P1、P2 に含まれる発光は Cu-rich 組成で生じる確率が低い Cu 欠陥を起因としている可能性がある。Cu-rich において強度が弱い原因としては、非放射再結合が多い、発光の基となるキャリアが少ないことが考えられ、Cu-rich 組成では発電効率が低くなるとことと矛盾しない。

また、Cu-rich 組成の 0.9~1.2 eV にかけて幅の広い発光(P3)が観測された。この発光は Cu-rich 組成だけでなく Cu-poor、Cu-stoichiometric 組成でも非常に弱い観測されており、拡大すると同じスペクトル形状をしている。よって、これらの発光は同一の発光機構の可能性が高いと考えている。この発光は 0.9~1.2 eV でありバンドギャップ 1.4 eV よりも深い準位に起因するため、この発光の起源となる欠陥は効率低下の要因になり得るものの、発光が弱く効率に大きくは影響しないと推測している。

P1 と P2 の分析のために Cu-stoichiometric 組成の PL スペクトルをピーク分離した結果、peak1~peak4 の 4 つに分離された。これらについて PL の励起強度依存性を観測した結果、peak1 は励起子発光、peak2~peak4 は DAP 再結合発光であることが分かった。PL の試料温度依存性から活性化エネルギーを求めた結果、peak1 = 10.9 meV、peak2 = 14.0 meV、peak3 = 21.4 meV といずれも室温に相当する 26 meV 以下であり、キャリアの供給源になりうることもまた、発電効率の低下には大きく影響しないことが分かった。

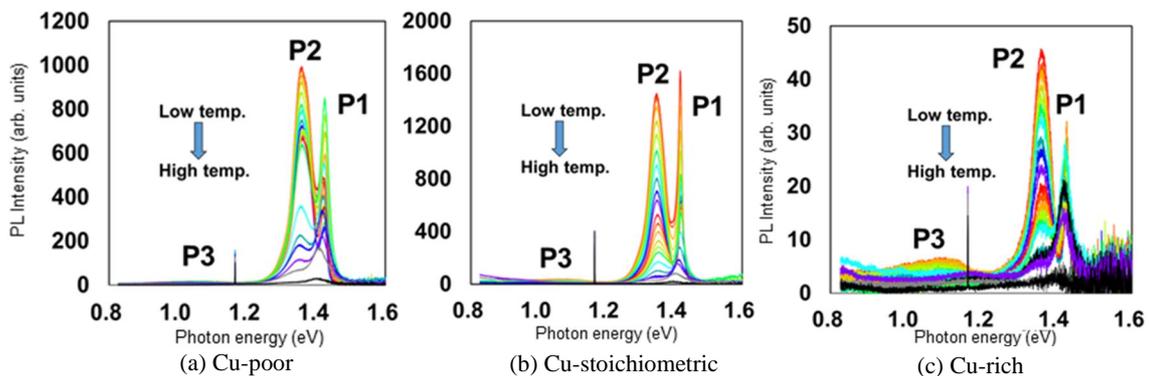


Fig. 3 Temperature dependence of PL spectra from CTGS bulk polycrystals ($Ge/IV \approx 0.8$).

$Ge/IV \approx 0.2$ では高効率が報告されている Cu-poor を中心に検討を行った⁽²⁾。具体的には ($Cu/IV = 1.61$, $Ge/IV = 0.16$)、($Cu/IV = 1.75$, $Ge/IV = 0.22$)、($Cu/IV = 1.91$, $Ge/IV = 0.25$) について検討を行った。Fig. 4 に 6 K における $Ge/IV \approx 0.2$ の PL スペクトルを示す。いずれも 5 つのピークからなっていることが分かる。CTS の PL である Fig. 2 と比較すると、p5 が peak2、p6 が peak3、p7 が peak4、p8 が peak5、p1~3 が peak1 (p = CTS/Fig. 2, peak = CTGS/Fig. 4) に対応しており、Ge が入っても同様の発光が観測されることが分かる。CTS の PL である Fig. 2 と比較すると、Fig. 2 における p7 と p5 に対応するものが Fig. 4 では観測されていない。したがって、Ge が多いと p7、p5 に対応する発光が抑制される可能性がある。温度依存性から DAP 再結合発光の活性化エネルギー（それぞれの試料の平均値）を求めた結果、peak2 = 50.2 ± 7.8 meV、peak3 = 18.3 ± 3.8 meV、peak4 = 25.8 ± 11.6 meV、peak5 = 18.1 ± 2.3 meV となった。peak 2 の活性化エネルギーが対

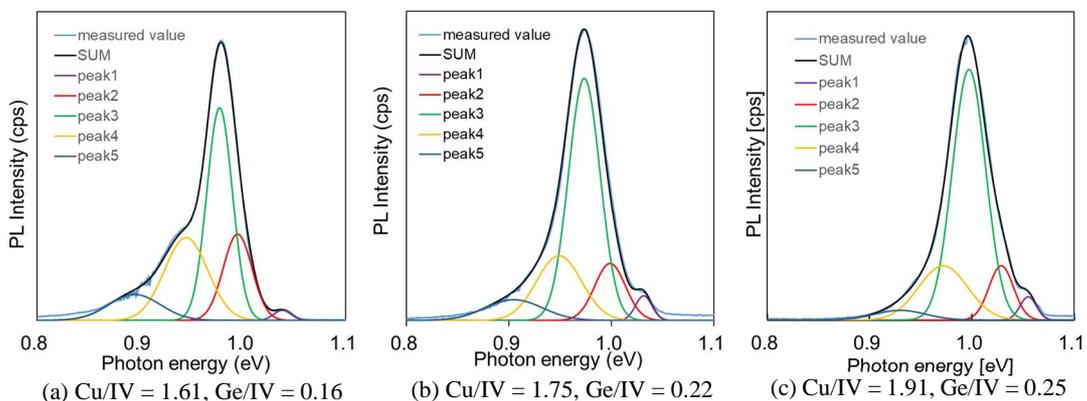


Fig. 4 Peak separation results of CTGS bulk polycrystals ($Ge/IV \approx 0.2$).

応する CTS の p5 とずれているがそれ以外はおおむねあっている。peak2 は peak1 との重なりが多く分離がうまくできていない可能性がある。また、peak1 は Fig. 2 (CTS 薄膜) や Fig. 3 (CTGS バルク多結晶、Ge/IV=0.8) と比較すると弱く広がっているため、ここで励起子発光とは明言できず、励起子またはバンド端発光であると判定した。DPA 再結合発光から求めた欠陥準位を見ると、概ね室温に相当する 26 meV 以下であり、キャリアの供給源になりうることもまた、発電効率の低下には大きく影響しないことが分かった。

4 - 3 CTGS 薄膜の PL スペクトルの観測⁽⁶⁾

単接合太陽電池で最高効率となるバンドギャップは 1.4 eV 程度であり、これに対応する Ge/IV は 0.8 である。しかし、CTGS 薄膜では Ge 含有量が増加すると薄膜表面が荒くなる⁽⁷⁾。このことも一因となり、現状では Ge/IV = 0.2 程度が最も効率が高くなっている⁽²⁾。そこで、Ge/IV = 0 ~ 0.2 程度の (Cu/IV = 1.71, Ge/IV = 0.00)、(Cu/IV = 1.69, Ge/IV = 0.14)、(Cu/IV = 1.88, Ge/IV = 0.19) について検討を行った。なお、基板にソーダライムガラスを用いているため、膜中に Na が含まれている。

Fig. 5 に 6K で観測した CTGS 薄膜 (Ge/IV \approx 0 ~ 0.2) の PL スペクトルを示す。CTS 薄膜や CTGS バルク多結晶 (Ge/IV \approx 0.2) で観測された励起子発光 (バンド端発光) に対応する P1 や DAP 再結合発光に対応する P2 ~ P5 が観測された。DAP 再結合発光の活性化エネルギーは [Ge/IV=0.00] (P2 = 6.7 meV, P3 = 15.4 meV, P4 = 18.9 meV, P5 = 27.7 meV)、[Ge/IV=0.14] (P2 = 2.2 meV, P3 = 11.0 meV, P4 = 16.6 meV, P5 = 22.6 meV)、[Ge/IV=0.19] (P2 = 16.4 meV, P3 = 8.0 meV, P4 = 10.8 meV, P5 = 11.5 meV) といずれも室温以下程度であり、太陽電池効率低下要因とはならない、または、キャリア供給源になることが分かる。さらに、Ge/IV が増加する、つまり、バンドギャップエネルギーが増加しても浅い欠陥準位を保てることを示している。これは、太陽電池としての応用を考える場合、有利になり、CTGS は太陽電池光吸収層材料として優れていることが分かった。

4 - 5 Na 添加 CTGS 薄膜の PL スペクトルの観測⁽⁸⁾

CTS 薄膜太陽電池では高効率太陽電池を作製するために Na 添加が必須であることが知られている⁽¹⁾。しかし、CTGS ではその効果がまだ明示されていないものの、一般的に CTS 薄膜太陽電池に倣い意図的に Na を添加するか基板にソーダライムガラスを用い膜中に Na が添加されるようにしている。そこで、Na 添加により欠陥がどのように変化するのかを発光スペクトルの観点から調査した。

Fig. 6 に 6K における CTGS 薄膜の PL スペクトルの Na 含有量依存性を示す。なお、いずれの試料も Cu/IV = 2.0、Ge/IV = 0.55 となっている。全ての Na 添加量で P1 = 1.1 ~ 1.2 eV、P2 = 1.0 ~ 1.1 eV、P3 = 1.0 ~ 1.1 eV の 3 つの PL に加え、Na 添加無し試料では P5 = 0.88 eV の発光が、Na 添加試料では P4 = 0.95 ~ 1.0 eV の計 4 つの発光が観測された。P5 は深い発光であり、キャリアトラップの原因となりうるので、Na 添加により P5 が消えることは Na 添加による効率改善の一因である可能性がある。また、Na 添加量増加に伴い最も高エネルギー側の P1 発光が減少することも分かった。しかし、P1 は浅く室温で容易に励起されるため欠陥準位の位置の観点からは効率低下要因とならないと考えている。

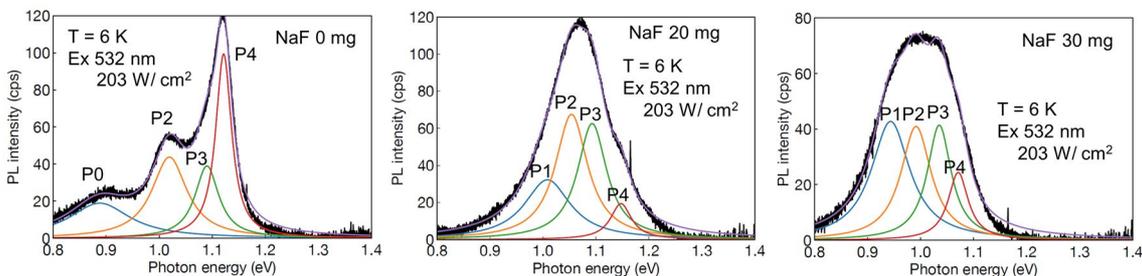


Fig. 6 PL spectra of CTGS thin films depend on NaF deposited amount.

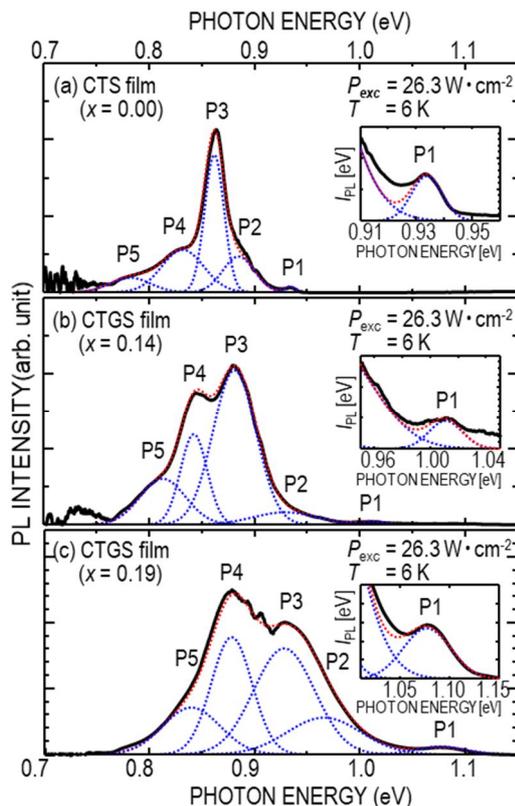


Fig. 5 Peak separation results of CTGS thin films (Ge/IV \approx 0~0.2).

4 - 6 発電効率が異なる CTS 薄膜太陽電池の PL スペクトルの観測⁽⁹⁾

CTS・CTGS 薄膜太陽電池の発電効率は CdS バッファ層の堆積状況により大きく異なる。そこで、CdS 堆積時のチオ尿素(TU)濃度を变化させて発電効率の異なる CTS 太陽電池を複数作製し、これの発光スペクトルの観測を行い、発光と発電効率の相関を調べた。

Fig. 7 に CTS 太陽電池の CdS 堆積時の TU 濃度依存を示す。濃度 0.16 mol/L でもっと効率が上がっていることが分かる。続いて Fig. 8 に各太陽電池の PL スペクトルを示す。CdS のバンドギャップは約 2.4 eV = 517 nm であり、励起光である 532 nm は CdS を通り抜け、CTS/CdS 界面を励起する。よって、Fig. 8 は空乏層近辺の PL を観測していることと対応する。

これまでの PL スペクトルと比較すると CdS バッファ層を堆積することにより、0.85 eV 近辺に新たに発光が現れることが分かる。しかし、0.85 eV の発光は TU 濃度依存を示さず、CTS 太陽電池の電気化学インピーダンスの TU 濃度依存性の調査結果と併せて判断した結果、TU 濃度による発電効率の変化は CTS 光吸収層には由来せず⁽¹⁰⁾、CdS 層に由来すると結論付けた。

4 - 7 まとめ

本研究では、CTS・CTGS のバルク多結晶、薄膜の PL スペクトルを観測することで、欠陥が作る準位が効率低下・改善のいずれに寄与するのかを検討し、高効率化のために導入・排除すべき欠陥を明らかにすること、この結果を基に、高効率化に適切な欠陥を導入・排除した CTS・CTGS 薄膜を用いて太陽電池を作製することを当初の目標としていた。

CTS・CTGS バルク多結晶、薄膜の PL スペクトルを観測した結果、効率低下要因となる cubic 相が含まれる場合は PL が非常に弱くなること、Cu-rich となると効率低下要因となる深い欠陥に起因する発光が観測されること、Na が添加されると効率低下要因となる深い欠陥に起因する発光が減ることから、monoclinic 単相のみ、Cu-poor、Na 添加により発電効率が改善するという既知の事実を裏付ける結果となった。また、Cu-rich で観測される深い発光以外はおおむね 26 meV 以下の浅い欠陥に起因する発光であり、キャリア供給源になる、あるいは効率低下要因とならないことが判明した。さらに、Ge 含有量で浅い欠陥の深さが変わらないことが判明した。したがって、効率低下要因とならずキャリア供給源となりうる浅い準位を維持しながらバンドギャップを变化させられることがわかった。これらはいずれも CTS・CTGS 薄膜太陽電池の高効率化に有益な情報となる。ただし、薄膜・バルク共にある程度の組成制御はできるものの完全に任意の比率にすることは難しく、得られた知見を活かした高効率化には至っていない。今後はこれらの知見を活かして高効率太陽電池を作ること、今回はキャリア再結合に関する静的な現象しか観測していないため、少数キャリア寿命などキャリアの動的挙動を観測して高効率化に関する新たな知見を得て高効率化を行うことが目標となる。

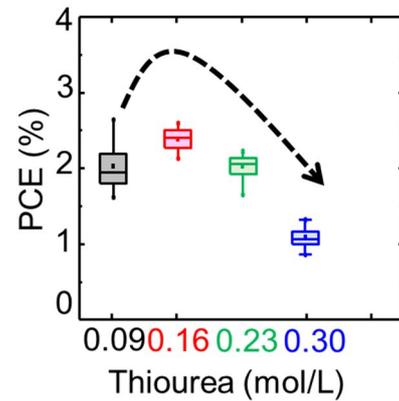


Fig. 7 power conversion efficiency (PCE) depend on thiourea concentration.

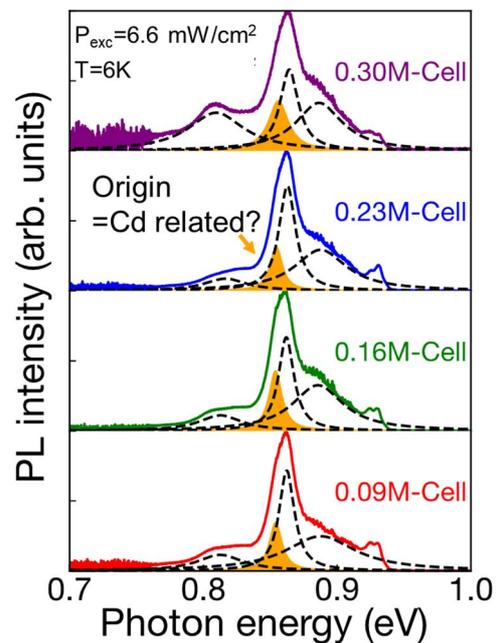


Fig. 8 PL spectra depend on thiourea concentration.

Reference

- (1) J. Chantana et al., Sol. Energy Mater. Sol. Cells **168** (2017) 207.
- (2) M. Umehara et al., Appl. Phys. Ex. **9** (2016) 0972301.
- (3) K. Tanaka et al., Appl. Phys. A **129** (2023) 360.
- (4) T. Abe and K. Tanaka, Journal of Ternary and Multinary Compounds **2021** (2021) 14-17 .
- (5) 阿部 司、田中久仁彦、多元系化合物・太陽電池研究会 年末講演会論文集 (2020) 40.
- (6) A. Kanai et al., J. Phys. D: Appl. Phys. **58** (2023) 265102.
- (7) A. Kanai et al., J. Mater. Sci.: Mater. Electron. **35** (2024) 5262.
- (8) 市原 稜大 他、第 71 回応用物理学会春季学術講演会, 24p-P06-8.
- (9) 市原 稜大 他、2023 年度元系化合物・太陽電池研究会年末講演会, O-2.
- (10) A. Kanai et al., J. Phys. D: Appl. Phys. **57** (2024) 025502.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

| | |
|--|-------------------------------|
| 1. 著者名 阿部 司、田中 久仁彦 | 4. 巻 2021 |
| 2. 論文標題 太陽電池材料Cu _x Sn _{1-y} Ge _y S ₃ からの発光スペクトルのCu/ 族比依存性 | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 多元系化合物・太陽電池研究会 年末講演会論文集 | 6. 最初と最後の頁 14~17 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.57386/tmc.2021.0_14 | 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 阿部 司、田中 久仁彦 | 4. 巻 2020 |
| 2. 論文標題 発光分光によるCu ₂ S _{1-x} Ge _x S ₃ のCu/IV族比依存の検討 | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 多元系化合物・太陽電池研究会 年末講演会論文集 | 6. 最初と最後の頁 40~43 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.57386/tmc.2020.0_40 | 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 Kanai Ayaka, Hata Ryoma, Sugiyama Mutsumi, Tanaka Kunihiro | 4. 巻 56 |
| 2. 論文標題 Photoluminescence properties of Cu-poor Cu ₂ Sn _{1-x} Ge _x S ₃ thin films with varying Ge/(Ge+Sn) ratio | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Physics D: Applied Physics | 6. 最初と最後の頁 265102(10pages) |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1361-6463/accc42 | 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 Tanaka Kunihiro, Miyagi Shogo, Motai Daiki, Ohashi Ryota, Hosokawa Yoko, Jimbo Kazuo, Akaki Yoji, Araki Hideaki | 4. 巻 129 |
| 2. 論文標題 Dependence of photoluminescence on sulfurization temperature of Cu ₂ SnS ₃ thin films | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Applied Physics A | 6. 最初と最後の頁 360(10pages) |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00339-023-06641-x | 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 Kanai Ayaka, Saito Soichiro, Araki Hideaki, Tanaka Kunihiro | 4. 巻 57 |
| 2. 論文標題 Influence of thiourea concentration during deposition of a CdS buffer layer on the electric properties of Cu ₂ Sn ₃ solar cells | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Physics D: Applied Physics | 6. 最初と最後の頁 025502(9pages) |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6463/ad00c7 | 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22件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 7件)

| |
|---|
| 1. 発表者名 市原 稜大, 田崎 傑土, 荒木 秀明, 金井 綾香, 田中 久仁彦 |
| 2. 発表標題 NaF蒸着Cu ₂ Sn _{1-x} GexS ₃ 薄膜のフォトルミネッセンス |
| 3. 学会等名 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 田中 久仁彦, 金井 綾香, 荒木秀明, 杉山 睦 |
| 2. 発表標題 光学特性観測による銅硫化物系太陽電池光吸収層材料の評価 |
| 3. 学会等名 第71回応用物理学会春季学術講演会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2024年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 市原 稜大, 金井 綾香, 齋藤 聡一郎, 荒木 秀明, 田中 久仁彦 |
| 2. 発表標題 Cu ₂ SnS ₃ 太陽電池の発光スペクトルへのCdS バッファ層形成時のチオ尿素濃度の影響 |
| 3. 学会等名 2023年度元系化合物・太陽電池研究会 年末講演会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Ayaka Kanai, Soichiro Saito, Hideaki Araki, Kunihiko Tanaka |
| 2. 発表標題 " Influence of (NH ₂) ₂ CS concentration during deposition of an n-type CdS buffer layer on the electric properties of Cu ₂ SnS ₃ thin-film solar cells |
| 3. 学会等名 第33回 日本MRS年次大会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 金井 綾香, 齋藤 聡一郎, 荒木 秀明, 田中 久仁彦 |
| 2. 発表標題 CdS層成膜時の(NH ₂) ₂ CS濃度がCu ₂ SnS ₃ 薄膜太陽電池の太陽電池特性に与える影響 |
| 3. 学会等名 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 Ayaka Kanai, Ryoma Hata, Mutsumi Sugiyama, Kunihiko Tanaka |
| 2. 発表標題 Influence of Ge/(Ge+Sn) ratio on morphology and structure properties of Cu ₂ (Sn _{1-x} Ge _x)S ₃ film |
| 3. 学会等名 the 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Ryoma Hata, Ayaka Kanai, Mutsumi Sugiyama, Kunihiko Tanaka |
| 2. 発表標題 Investigation of basic physical properties in Cu ₂ Sn _{1-x} Ge _x S ₃ by observation of photoluminescence |
| 3. 学会等名 the 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Masaya Takahashi, Takeshi Tasaki, Daiki Motai, Yoji Akaki, Yuji Kurimoto, Tamotsu Okamoto, Ayaka Kanai, Kunihiko Tanaka, Hideaki Araki |
| 2. 発表標題 Fabrication of monolithic integrated CTS thin film solar cells |
| 3. 学会等名 7th STI Gigaku2022 (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Mutsumi Sugiyama, Ayaka Kanai, Kunihiko Tanaka |
| 2. 発表標題 Influence of Ge inclusion on surface morphologies of Cu ₂ (Sn _{1-x} Gex)S ₃ films grown by sulfurization of Cu/Sn-S precursors |
| 3. 学会等名 2022 MRS Fall Meeting & Exhibit (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Masaya Takahashi, Takeshi Tasaki, Daiki Motai, Yoji Akaki, Yuji Kurimoto, Tamotsu Okamoto, Aayaka Kanai, Kunihiko Tanaka, Hideaki Araki |
| 2. 発表標題 Fabrication of Cu ₂ SnS ₃ based thin-film solar cells and modules |
| 3. 学会等名 The 1st KOSEN Research International Symposium (KRIS2023) (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 金井 綾香, 齋藤 聡一郎, 荒木 秀明, 田中 久仁彦 |
| 2. 発表標題 n-CdS層成膜時の(NH ₂) ₂ CS濃度がCu ₂ SnS ₃ (CTS)太陽電池の電気特性に与える影響 |
| 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 羽田 涼馬, 金井 綾香, 杉山 睦, 田中 久仁彦 |
| 2. 発表標題 フォトルミネッセンス観測によるCu ₂ Sn _{1-x} GexS ₃ の基礎物性の調査 |
| 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 高橋 昌也, 茂田井 大輝, 田崎 傑士, 赤木 洋二, 栗本 祐司, 岡本 保, 金井 綾香, 田中 久仁彦, 荒木 秀明, |
| 2. 発表標題 モノリシック集積型CTS薄膜太陽電池モジュールの作製 |
| 3. 学会等名 第9回高専-TUT太陽電池合同シンポジウム |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 大橋 零, 金井 綾香, 荒木 秀明, 田中 久仁彦 |
| 2. 発表標題 Ge/(Ge+Sn)組成比がCu ₂ (Sn,Ge)S ₃ 薄膜太陽電池の電気特性に与える影響 |
| 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 金井 綾香, 杉山睦, 荒木秀明, 田中久仁彦 |
| 2. 発表標題 環境調和型化合物薄膜太陽電池の現状 |
| 3. 学会等名 日本太陽光発電学会Women in Photovoltaics分科会研究会(招待講演) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 金井 綾香, 杉山 睦, 荒木 秀明, 田中 久仁彦 |
| 2. 発表標題 Cu ₂ SnS ₃ 系太陽電池の特徴と高効率化技術 |
| 3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Tsukasa Abe, Kunihiko Tanaka |
| 2. 発表標題 Investigation of Cu/IV ratio dependence of Cu _x Sn _{1-y} GeyS ₃ by photoluminescence observation |
| 3. 学会等名 2021 International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Shogo Miyagi, Kunihiko Tanaka |
| 2. 発表標題 Photoluminescence from Cu ₂ SnS ₃ thin films depend on sulfurization temperature |
| 3. 学会等名 2021 International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 阿部 司, 田中 久仁彦 |
| 2. 発表標題 発光分光による太陽電池光吸収層材料Cu _x Sn _{1-y} GeyS ₃ の欠陥の検討 |
| 3. 学会等名 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 宮城 祥吾, 田中 久仁彦, 茂田井 大輝, 大橋 亮太, 渡邊 奏汰, 細川 陽子, 神保 和夫, 赤木 洋二, 荒木 秀明 |
| 2. 発表標題 発光分光による異なる硫化温度で作製したCu ₂ SnS ₃ 薄膜の評価 |
| 3. 学会等名 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 阿部 司, 田中 久仁彦 |
| 2. 発表標題 発光分光によるCu ₂ Sn _{1-x} GexS ₃ のCu/IV族比依存の検討 |
| 3. 学会等名 応用物理学会 多元系化合物・太陽電池研究会 年末講演会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 阿部 司, 田中 久仁彦 |
| 2. 発表標題 フォトルミネッセンス観測によるCu _x Sn _{1-y} GeyS ₃ のCu/IV族比依存の検討 |
| 3. 学会等名 応用物理学会春季学術講演会 |
| 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 |
|-------|--|--|----|
| 研究分担者 | 荒木 秀明 (Araki Hideaki) (40342480) | 長岡工業高等専門学校・物質工学科・教授 (53101) | |

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|