

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 5 日現在

機関番号：34315

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2011～2013

課題番号：23686056

研究課題名(和文)異種半導体界面制御に基づく高効率Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub>薄膜太陽電池

研究課題名(英文)High efficiency Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub> thin film solar cells based on semiconductor hetero-junction control

研究代表者

峯元 高志 (Minemoto, Takashi)

立命館大学・理工学部・准教授

研究者番号：80373091

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 21,300,000円、(間接経費) 6,390,000円

研究成果の概要(和文)：Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub>(CZTS)薄膜作製時の課題であった硫化後の欠陥の抑制と組成制御について調査した。硫化後のドーム状欠陥改善のために、CZTプリカーサ作製時にあえて酸素を導入し、硫化時にその酸素と硫黄を置換させることにより、硫化時の体積増加を抑制した。その結果、ドーム状欠陥のない平坦なCZTS薄膜を得ることができた。次に、プリカーサ作製時に、Cu、Zn、Snを基板上にそれぞれ順番に成膜することにより、プリカーサの組成を制御した。その結果、組成制御されたCZTS薄膜で変換効率2%を得た。

研究成果の概要(英文)：Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub>(CZTS) thin films with good surface morphology for the absorber of solar cells have been successfully fabricated by composition control of Cu-Zn-Sn precursor layers. The solar cell with ZnO:Al/ZnO/CdS/CZTS/Mo/glass structure produced 2% efficiency.

研究分野：半導体電子工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：太陽電池 半導体 結晶成長

## 1. 研究開始当初の背景

(1) これまでの太陽電池材料開発の経緯  
現在の太陽電池材料の主流は依然として結晶シリコンである。シリコンそのものは資源が豊富であるが、高純度かつ完全性の高い結晶シリコンを得るには、工程数が多く、かつ、多大なエネルギー投入が必要であり、低コスト化が難しい。同じシリコンで、使用量を1/100程度に減らすことができるアモルファスシリコンや微結晶シリコンなどの薄膜シリコンがあるが、大きな設備コスト(真空装置)や変換効率の伸び悩み(効率:15%程度)が、低コスト化を阻んでいる。そこで最近注目を集めているのが、CdTeやCu(In,Ga)Se<sub>2</sub>などの化合物多結晶薄膜である。これらは、薄膜シリコン並みの厚みで太陽光の大部分を吸収でき、かつ、20%程度の高効率が研究室レベルで実証されており、参入する企業が絶えない。

### (2) これからの太陽電池材料の開発指針

これまでの太陽電池材料の開発は、高効率化が可能な材料を開発するという主に「物性重視」であった。CdTeやCu(In,Ga)Se<sub>2</sub>などは確かに高効率・量産性の観点から優れた材料であるが、環境負荷の大きい元素(CdやSe)を用いていることや、材料資源の限界が直ぐに見えそうな元素(In, Ga, Te)を用いているため、地球規模での爆発的な太陽電池の普及を支えるには不安が残る。

これからの太陽電池材料の開発には、以下の4点を満たすべきである。

- ・資源が豊富(⇒非枯渇・低コスト・安定供給)
- ・環境負荷の大きい元素を用いない(⇒安全)
- ・低コスト・高速で製造が可能(⇒量産性)
- ・太陽電池として優れた物性を有する(⇒高変換効率)

### (3) 本研究で取り組む太陽電池

本研究では、上記4点を満たす新材料としてCu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub>(CZTS)多結晶薄膜を用いた太陽電池に取り組む。CZTSの禁制帯幅(E<sub>g</sub>)は1.5eV程度であり、単接合太陽電池の理想値である1.4eVに近く、原理的には変換効率25%以上の達成が可能である。一方で、実験的な効率は10%以下というまだまだ低い値にとどまっている。これは、デバイス最適設計の不十分さや、高品質結晶成長技術の未確立が原因であり、物的には高効率化に十分な可能性を秘めている。

## 2. 研究の目的

化合物多結晶薄膜であるCu(In,Ga)Se<sub>2</sub>は低コスト・高効率な太陽電池の光吸収層として大きな注目を集めている。一方、希少元素のInとGaを用いているため、太陽電池の地球規模での爆発的な普及を支えるには不安が残る。そこで、InとGaを、資源が豊富なZnとSnで置き換えたCZTSが大きな注目を集めている。しかし、バンド図の設計指針に基づく最適デバイス構造設計が不十分であ

り最高効率は未だに10%に満たない。本研究では、高品質CZTSの結晶成長とデバイス構造の最適化によってデバイス内でのキャリア再結合を極力低減することで、変換効率10%の達成を目指す。

## 3. 研究の方法

### (1) CZTS薄膜の成長法

①酸素含有プレカーサによる平坦なCZTS薄膜の成長

Cu-Zn-Sn-S(CZTS)プリカーサの硫化により作製されたCZTS薄膜を用いて高効率太陽電池が報告されている。プリカーサの作製には主にスパッタ法が用いられる。しかし、スパッタ装置のS汚染によるメンテナンスの手間を省くためにスパッタのターゲットには化合物ターゲットではなく合金ターゲットを用いる事が望ましい。本研究ではプリカーサ作製に合金ターゲットであるCu-Zn-Sn

(CZT)ターゲットを用いた。しかし、合金であるCZTプリカーサの硫化法では、図1に示すように、硫化後のCZTS薄膜にドーム状の欠陥がしばしば見られた。他の研究機関でもCZTS薄膜作製後ドーム状の欠陥が形成されることがあると報告されている。

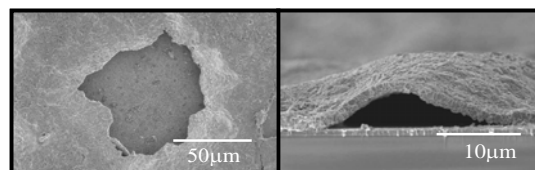


図1 CZTS薄膜のドームの表面(左)と断面(右)のSEM像

これらの欠陥は硫化時の薄膜の急激な体積増加、あるいは、硫化中の薄膜からのSnの蒸発が原因で形成されると考えられる。CZTS太陽電池の変換効率を低下させる要因の一つとして、これらの欠陥によるシャントが考えられる。長岡高専の片桐らはプリカーサにZnの代わりにZnSを用いることによりCZTS薄膜の表面欠陥の改善を実現している。本研究では、CZTプリカーサからCZTS薄膜を作製するための硫化時の急激な体積増加を抑制するため、あえてプリカーサ作製時に酸素を意図的に導入しCZTOプリカーサを用意した。このCZTOプリカーサを硫化しCZTS薄膜を作製した。また、プリカーサへの酸素導入量を変えることによる膜質の変化を観察した。

CZTOプリカーサはCZTターゲットを用いたスパッタ法により成膜した。基板にはMoをスパッタ法で堆積させたSoda lime glass(SLG)基板を用いた。CZTOプレカーサの成膜に酸素が与える影響を調べるため、酸素導入量を4パターンに変えてCZTOプリカーサを作製した。Ar + O<sub>2</sub>雰囲気でのO<sub>2</sub>分圧比

を 0% (O<sub>2</sub> 導入なし), 5%, 17%, 20% でスパッタしたものを作製した。

CZTS プリカーサ作製後、ランプ加熱装置を用い硫化し CZTS 薄膜を作製した。サンプルホルダー上に CZT 合金膜と S 粉末を置き、Ar ガスの流量を 400ml/sec、圧力を 1.6 気圧程度に維持した。サンプルの温度は熱電対をサンプル表面付近の中空に固定し、測定を行った。

## ②組成制御した CZT プリカーサによる高品質 CZTS 薄膜の成長

上記①によってドーム状欠陥は改善され平坦な膜が得られたが、組成をコントロールできず膜に SnS や ZnS、CuS などの異相が形成された。プリカーサの作製時に Cu、Zn、Sn を基板上にそれぞれ順番に成膜することにより、プリカーサの組成を制御し CZTS 薄膜の組成をリファレンスの組成に近づけようと考えた。

CZT レイヤープリカーサの作製にスパッタ法を用いた。ターゲットには Cu、Zn、Sn の単体金属ターゲットを用いた。基板には Mo をスパッタ法で堆積させた Soda lime glass (SLG) 基板を用いた。基板上に Zn→Cu→Sn の順番に成膜を行い、Sn/Cu/Zn のレイヤープリカーサを作製した。この成膜の際、それぞれの製膜時間をコントロールすることにより、プリカーサの組成制御を行った。

CZT レイヤープリカーサを硫化し CZTS 薄膜を作製した。サンプルホルダーに蓋をするように CZT プリカーサを置き、その下に S 粉を置いた。そして、加圧のためリークバルブを完全に閉じ差圧計の値が 0.1MPa になるように Ar を流し硫化を行った。

作製したプリカーサと CZTS 薄膜の物性を Scanning Electron Microscopy : SEM、X-ray diffraction : XRD、Energy X-ray Dispersive Spectroscopy : EDS にて調査した。

## (2) CZTS 太陽電池の作製と評価

作製した CZTS 薄膜を用いて、図 2 に示すような Al/NiCr/ZnO:Al(AZO)/CdS/CZTS/Mo/SLG 構造の太陽電池を作製した。セル化の手順としては、まず、CZTS 薄膜の異相除去のため HCl エッチングを 10ml/L で 30sec 行い、その後、200°C、30min でアニールを行った。次に、chemical bath deposition (CBD) 法により 50nm の CdS を CZTS 上に堆積後、スパッタ法により AZO を 300nm 堆積させた。その上にグリッド電極である Al/NiCr を堆積させた。セルの面積は 0.12cm<sup>2</sup> (active area) である。電流密度-電圧測定はソーラーシミュレーターを用いて 25°C、100mW/cm<sup>2</sup>、AM1.5 の条件下で行った。

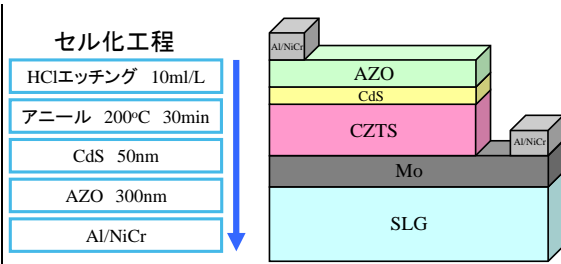


図 2 CZTS 薄膜のセル化工程とセル構造

## 4. 研究成果

### (1) CZTO プリカーサによる平坦な CZTS 薄膜の実現

図 3、4 に作製した CZTO プリカーサの SEM 像を示す。酸素分圧比 0% でスパッタした CZTO プリカーサ (CZT プリカーサ) は結晶粒が表面・断面 SEM 像の両方から確認できる。一方、酸素分圧比 5%、17%、20% でスパッタした CZTO プリカーサは結晶粒が確認出来ないことからアモルファス状であると考えられる。この原因として、スパッタ中の酸素イオンによる基板へのダメージが考えられる。通常の Ar 雰囲気下のスパッタでは、Ar 原子は+イオンとなりターゲットにぶつかりターゲットから原子を飛ばす。その原子が基板に到達することにより成膜される。しかし、スパッタ中に酸素を導入した際、酸素は-イオンになるので基板に酸素イオンがぶつかる。これにより、基板上や基板付近の原子や分子がダメージを受け、結晶として成長せずアモルファスになるのではないかと考えられる。酸素を導入したプリカーサにおいて、SEM 像からはスパッタ中の酸素分圧比依存性は確認できなかった。

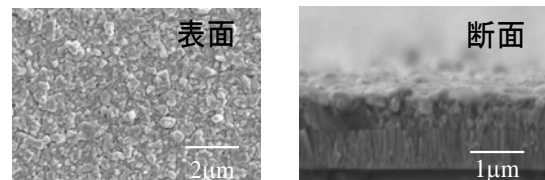


図 3 酸素分圧比 0% の CZTO プリカーサの SEM 像

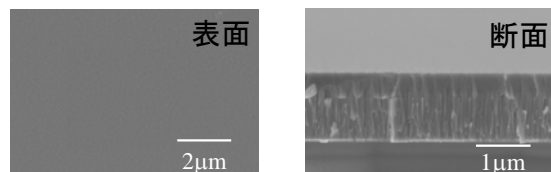


図 4 酸素分圧比 20% の CZTO プリカーサの SEM 像

図 5 に作製した CZTO プリカーサの XRD 解析結果を示す。酸素分圧比 0% でスパッタした CZTO プリカーサ (CZT プリカーサ) は結晶粒が表面・断面 SEM 像の両方から確認できるように、図 5 の XRD 解析結果も同様に

結晶のピークが確認できる。また、 $\text{Cu}_2\text{ZnSn}$  の相は確認できず、 $\text{Zn}$ 、 $\text{Sn}$  や  $\text{Cu}_5\text{Zn}_8$ 、 $\text{Cu}_{10}\text{Sn}_3$  合金の相が存在していることがわかった。酸素分圧比 5%、17%、20% でスパッタした CZTO プリカーサは上記と同様に XRD 解析結果からも結晶のピークは確認できずアモルファス状であることがわかった。また、XRD 解析結果からもスパッタ時の酸素分圧比の依存性は確認できなかった。

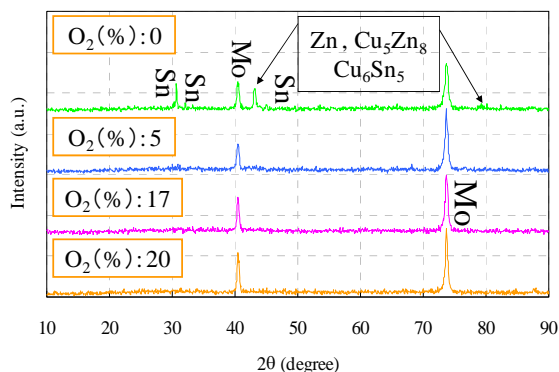


図 5 CZTO プリカーサの XRD 解析結果

表 1 に作製した CZTO プリカーサの組成分析結果を示す。スパッタ時の酸素分圧比を上げるにつれて CZTO プリカーサの酸素含有量は上がっている。

表 1 CZTO プリカーサの組成分析結果

O <sub>2</sub> 分圧比 (%)	Cu(at%)	Zn(at%)	Sn(at%)	O(at%)
0	28	21	24	8
5	20	14	15	37
17	18	11	13	46
20	15	7	10	54

Cu/Sn	Zn/Metal	Cu/(Zn+Sn)	Zn/Sn
1.17	0.29	0.62	0.88
1.33	0.29	0.69	0.93
1.38	0.26	0.75	0.85
1.50	0.22	0.88	0.70

CZTO プリカーサの硫化後の SEM 像を図 6、7 に示す。SEM 像からは酸素分圧比 0% の CZTS 薄膜は他の膜に比べて十分に結晶が成長していることが確認できる。しかし、図 6 の表面 SEM 像から、シャントの原因となるドーム状欠陥が確認できる。一方、酸素を導入してスパッタしたプリカーサで作製した CZTS 薄膜は、表面 SEM 像 (図 7) からはドーム状の欠陥は確認できず、平坦な膜であることが確認できた。しかし、酸素を導入してスパッタしたプリカーサで作製した CZTS 薄膜の断面 SEM 像を確認すると、膜が上部と Mo 側の 2 層に分かれている。上部の粒径の大きな部分は CZTS と考えられ、Mo 側の層は粒径が小さく硫化とアニールが十分でないと考えられる。よって、CZTO プリカーサを十分に硫化するために硫化条件の検討が必要だと考えられる。

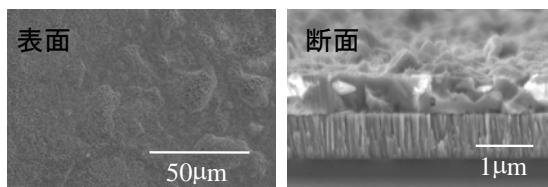


図 6 酸素分圧比 0% のプリカーサ硫化後 SEM 像

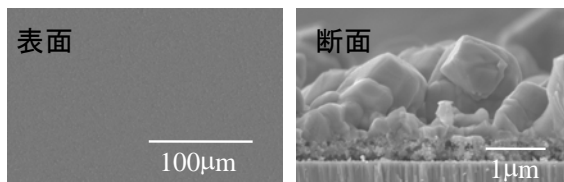


図 7 酸素分圧比 20% のプリカーサ硫化後 SEM 像

CZTO プリカーサ硫化後の XRD 解析結果から、どの CZTS 薄膜も CZTS のピークと Mo のピークしか示さず、プリカーサスパッタ時の酸素分圧比依存性は見られなかった。しかし、酸素分圧比 5%、17%、20% の CZTS 薄膜は上記の SEM 像から光吸収層部分が 2 層に分かれていることが確認できたので、CZTS のピークと同じ位置にピークが存在する SnS や ZnS の存在も考えられる。また、酸素を多く含むプリカーサを硫化した CZTS 薄膜から酸化物のピークは確認できず、膜中の酸化物はアモルファス状態で存在しているか、酸素は硫化中に膜から抜けたと考えられる。

CZTO プリカーサ硫化後の組成分析結果を表 2 に示す。全ての膜の酸素含有量が 3at.% と低い値を示し、硫黄含有量が膜中の約 50at.% を占めている。このことから、硫化中に膜中の酸素が硫黄に置換されたと考えられる。また、Cu/Sn 比が約 1.6 とリファレンス組成と比べて低い値を示している。今後、スパッタ条件や硫化条件を検討し組成をリファレンス組成に合わせていく必要がある。

表 2 CZTO プリカーサ硫化後の組成分析結果

O <sub>2</sub> 分圧比 (%)	Cu(at%)	Zn(at%)	Sn(at%)	S(at%)	O(at%)
0	18	14	11	57	3
5	20	16	13	49	3
17	20	13	13	50	2
20	20	12	12	52	3

Cu/Sn	Zn/Metal	Cu/(Zn+Sn)	Zn/Sn	S/Metal
1.64	0.33	0.72	1.27	1.33
1.54	0.33	0.69	1.23	1.00
1.54	0.28	0.77	1.00	1.09
1.67	0.27	0.83	1.00	1.18

(2) 精密な組成制御による高品質 CZTS 薄膜の成長と太陽電池特性

CZT レイヤープリカーサの組成を変えた 3 種類のプリカーサ膜を用い CZTS 薄膜を作製し

た。その後、CZTS 薄膜をセル化し、電流密度-電圧測定を行った。この3種類のサンプル名を Cu:0.4、Cu:0.6、Cu:0.8 とし、数が大きくなると、より Cu-rich な組成となる。

表3に組成を変えて作製した CZTS 薄膜の組成分析結果を示す。組成分析結果より、Cu:0.8 の CZTS 薄膜は Zn/Sn 以外の組成でリファレンス (Cu/Sn = 1.7 ~ 1.9, Zn/Sn = 1.2) に近い値を得ることができた。Zn/Sn は Cu:0.4 の CZTS 薄膜が一番大きく、Cu:0.8 の CZTS 薄膜が一番小さい値を示している。Cu が膜中に多いと硫化中に Cu<sub>2</sub>S がたくさん存在するようになり、SnS<sub>2</sub> との反応が高確率で起こり最終的に CZTS 形成にたどり着く。しかし、Cu が膜中に少ないと硫化中に Cu<sub>2</sub>S が少なくなり、SnS<sub>2</sub> との反応が起こりにくくなる。これにより膜中の SnS<sub>2</sub> が Cu<sub>2</sub>S と反応する前に SnS として膜から再蒸発しやすくなると考えられる。よって、膜の Cu 含有量が少ないほど Sn が再蒸発しやすくなり Zn/Sn は大きくなると考えられる。

表3 組成を変えた CZTS の組成分析結果

Cu	Cu (at.%)	Zn (at.%)	Sn (at.%)	S (at.%)	O (at.%)
0.4	12	17	7	63	0
0.6	15	16	9	60	0
0.8	18	14	10	58	0

Cu/ Sn	Zn/ Metal	Cu/ Zn (Zn + Sn)	Zn/ Sn	S/ Metal
1.71	0.47	0.50	2.43	1.75
1.67	0.40	0.60	1.78	1.50
1.80	0.33	0.75	1.40	1.38

CZTS 薄膜の XRD 解析から、CZTS と Mo のピーク以外に ZnS のピークも確認することができる。ZnS が析出した原因は、膜がリファレンス (Cu/Sn = 1.7 ~ 1.9, Zn/Sn = 1.2) より Zn-rich な組成であったからだと考えられる。比較的 Zn 組成が低い Cu:0.8 では ZnS のピークは確認できなかった。

組成を変えて作製した CZT レイヤープリカーサの硫化後の表面・断面 SEM 像を図8に示す。SEM 像より、3種類の CZTS 薄膜はドーム状欠陥が無く平坦な膜であった。しかし、Zn/Sn の組成が高い Cu:0.4 と Cu:0.6 の CZTS 薄膜には膜表面に CZTS とは異なる白い細かな結晶粒の析出が確認できた。これは、XRD 解析結果と SEM 像から、ZnS であると考えられる。

最後に、組成を変えた3パターン of CZT レイヤープリカーサから作製した CZTS 薄膜のセル化を行った。Cu:0.8 のセルで J<sub>sc</sub>(mA/cm<sup>2</sup>) = 13.75、V<sub>oc</sub>(V) = 0.39、FF(%) = 38.57、Eff.(%) = 2.05 を達成した。しかし、Cu:0.8 の CZTS

薄膜の SEM 像から、CZTS の粒径が小さいことがわかる。よって、太陽電池の効率をさらに向上させるには、最適な硫化条件の調査し結晶の成長を促す必要がある。

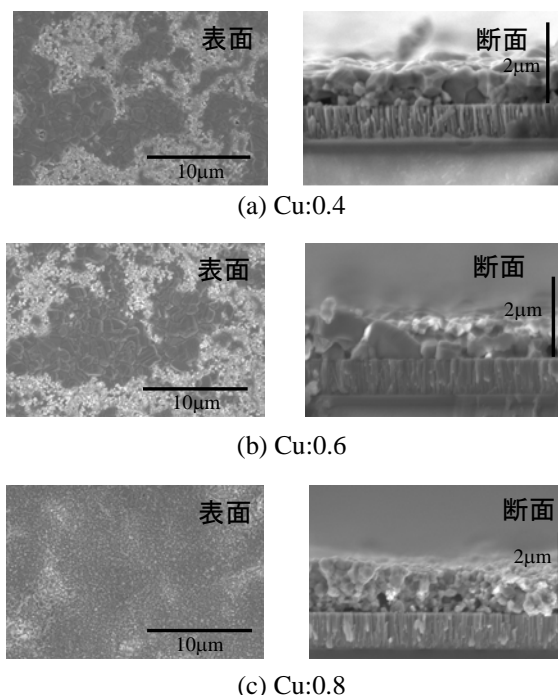


図8 組成を変えた CZTS 薄膜の表面・断面 SEM 像

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計11件)

- ① R. Ishino, K. Fukushima, T. Minemoto, "Improvement of Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub> thin film morphology using CuZnSnO precursor fabricated by sputtering", Current Applied Physics. 13, 1861-1864 (2013). 査読有 10.1016/j.cap.2013.06.021
- ② S. Fukamizu, D. Hironiwa, T. Minemoto, "Crystal Quality Improvement of CuInS<sub>2</sub> Thin Film by Two Step Fabrication Method with Bismuth addition", Applied Mechanics and Materials. 372, 563-566 (2013). 査読有 10.4028/www.scientific.net/AMM.372.563
- ③ J. Julayhi, T. Minemoto, "Zn(O, S):Al Films Prepared by Radio Frequency Magnetron Sputtering for Transparent Electrode", Applied Mechanics and Materials. 372, 567-570 (2013). 査読有 10.4028/www.scientific.net/AMM.372.567
- ④ T. Higuchi, N. Usami, T. Minemoto, "Grain boundary character change of Cu(In, Ga)Se<sub>2</sub> thin film with high temperature deposition", Phys. Status Solidi C. 10, 1035-1037 (2013). 査読有 10.1002/pssc.201200833
- ⑤ J. Julayhi, T. Minemoto, "Bufferless Cu(In, Ga)Se<sub>2</sub> solar cells using Zn(O, S):Al transparent electrode", Phys. Status

Solidi C. 10, 1026-1030 (2013). 査読有  
10.1002/pssc.201200802

⑥T. Minemoto, J. Julayhi, “Buffer-less  
Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> solar cells by band offset  
control using novel transparent  
electrode”, Current Applied Physics. 13,  
103-106 (2013). 査読有  
10.1016/j.cap.2012.06.019

⑦Y. Abe, A. Komatsu, H. Nohira, K.  
Nakanishi, T. Minemoto, T. Ohta, H.  
Takakura, “Interfacial layer formation  
at ZnO/CdS interface”, Applied Surface  
Science. 258, 8090-8093 (2012). 査読有  
10.1016/j.apsusc.2012.04.177

⑧R. Hamazaki, Y. Oda, S. Fukamizu, A.  
Yamamoto, T. Minemoto, H. Takakura,  
“Optimization of compositional ratio of  
Zn(O,S) window layer in CuInS<sub>2</sub> solar  
cells”, Japanese Journal of Applied  
Physics. 51, 10NC10-1-3 (2012). 査読有  
10.1143/JJAP.51.10NC10

⑨T. Minemoto, Y. Wakisaka, H. Takakura,  
“Grain Boundary Character Distribution  
on the Surface of Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> Thin Film”,  
Japanese Journal of Applied Physics. 50,  
031203-1-4 (2011). 査読有  
10.1143/JJAP.50.031203

⑩A. Okamoto, T. Minemoto, H. Takakura,  
“Application of sputtered ZnO<sub>1-x</sub>S<sub>x</sub> buffer  
layer for Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> solar cells”,  
Japanese Journal of Applied Physics. 50,  
04DP10-1-3 (2011). 査読有  
10.1143/JJAP.50.04DP10

⑪T. Minemoto, A. Okamoto, H. Takakura,  
“Sputtered ZnO-based buffer layer for  
band offset control in Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> solar  
cells”, Thin Solid Films. 519, 7568-7571  
(2011). 査読有 10.1016/j.tsf.2010.12.117

[学会発表] (計10件)

①芦田直輝, 村田雅, 植垣光, 廣庭大  
輔, 峯元高志, 「裏面側に高欠陥密度層をも  
つ Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> 太陽電池の性能シミュレ  
ーション」, 第61回応用物理学関係連合講演会、  
2014年03月19日、青山学院大学、神奈川県  
②M. Murata, T. Minemoto, “Device  
Modeling on Optimum Absorber Bandgap  
Profile of Cu(In,Ga)(S,Se)<sub>2</sub> Solar Cells”,  
23rd International Photovoltaic Science  
and Engineering Conference, 2013年10月  
31日, Taipei (Taiwan).

③M. Murata, J. Chantana, D. Hironiwa, K.  
Aoyagi, N. Kataoka, T. Minemoto,  
“Theoretical analysis of optimum bandgap  
profile of Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> solar cells with  
optical and defect properties”, 2013  
International Conference on Solid State  
Devices and Materials, 2013年9月26日,  
Fukuoka (Japan).

④T. Minemoto, “Research trend and future

direction of chalcogenide thin-film solar  
cells”, International Renewable and  
Sustainable Energy Conference 2013, 2013  
年03月06日, Ouarzazate (Morocco).

⑤R. Ishino, K. Fukushima, T. Minemoto,  
“Cu-Zn-Sn-O precursor fabricated by  
sputtering for Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub> thin film”, 22nd  
International Photovoltaic Science and  
Engineering Conference, 2012年11月07日,  
Hangzhou (China).

⑥T. Minemoto, “Current status and future  
of chalcogenide thin-film solar cells”,  
The 2nd International Conference on CIGS  
Solar Cells and Electronic Materials, 2012  
年10月15日, Taipei (Taiwan).

⑦石野亮, 福島和宏, 峯元高志,  
「Cu-Zn-Sn-O プリカーサの S 化による  
Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub> 薄膜の成長」, 第72回応用物理学  
学会学術講演会、2012年09月13日、愛媛大学、  
愛媛県

⑧R. Hamazaki, Y. Oda, S. Fukamizu, A.  
Yamamoto, T. Minemoto, H. Takakura,  
“Optimization of compositional ratio of  
Zn(O,S) window layer in CuInS<sub>2</sub> solar  
cells”, 21st International Photovoltaic  
Science and Engineering Conference, 2011  
年12月2日, Hilton Seahawk, Fukuoka.

⑨T. Minemoto, “Interface engineering on  
Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> solar cells”, The 1st  
International Conference on CIGS Solar  
Cells and Electronic Materials, 2011年  
10月14日, Taipei (Taiwan).

⑩T. Minemoto, “Hetero Junction  
Engineering for High Efficiency  
Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> Solar Cells”, 2011  
International Conference on Solid State  
Devices and Materials, 2011年9月29日,  
WINC Aichi, Nagoya.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称: 光電変換装置およびその製造方法  
発明者: 福島和宏, 森俊江, 峯元高志,  
石野亮  
権利者: 学校法人立命館、プロマティック株  
式会社  
種類: 特許  
番号: 特願2012-155110  
出願年月日: 2012年10月4日  
国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ

<http://www.ritsumei.ac.jp/se/re/takakuralab/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

峯元高志 (MINEMOTO TAKASHI)  
立命館大学・理工学部・准教授  
研究者番号: 80373091