

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 23 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04224

研究課題名（和文）高効率中間バンド太陽電池に向けてCuGaS₂における磁性不純物のドーピング効果研究課題名（英文）Effect of magnetic impurity doping in CuGaS₂ for Intermediate Band Solar Cells

研究代表者

アーサン ナズムル（Ahsan, Nazmul）

東京大学・先端科学技術研究センター・特任准教授

研究者番号：00422345

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、高効率中間バンド型太陽電池の実証のに向けて、ワイドギャップCuGaS₂（以下、CGS）薄膜の製膜及び太陽電池評価を推し進め、不純物バンド型材料として有効性を調べた。そのため、まず、CGSを母体した太陽電池構造の電池動作が実証できたことが大きな成果である。特に、CdSバッファ層にZnを添加することで太陽電池特性が向上した結果が主要な鍵である。そして、中間バンド型太陽電池材料として不純物バンド型材料物性の評価に向けて、Cr添加したCGS薄膜の評価を進めた。PL発光では2.43eVのバンドギャップ発光と並行して、1.5eVの不純物バンド発光が確認できたことが大きな成果であると思われる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

中間バンド型太陽電池において、中間バンドの母体となるワイドギャップの半導体材料開発が必須である。一方、高品質結晶性薄膜成膜として真空蒸着技術が求められるがワイドギャップ半導体の融点及び静電容量が高く、従来の真空蒸着技術でその成膜が困難である。本案件で進めた同時多元スパッタ成膜と並行して低融点物質加熱システムを開発したことで、蒸気圧の高い硫黄ガスの制御が可能となり、良質な結晶母体及び高品質な界面物性を得ることができた。本研究では、新しい原理に基づく、枯渇元素を含まない環境負荷の低い太陽電池材料が得られたことが資源制約をいかに打破してイノベーションに繋げるかの課題克服に貢献できたと思われる。

研究成果の概要（英文）：This study focuses on the fabrication of solar cells based on wide gap CuGaS₂ (CGS) thin films, and investigated its effectiveness as an impurity band material. Therefore, first of all, we were able to demonstrate the solar cell operation. In particular, the main key is the result of improving the solar cell characteristics by adding Zn to the CdS buffer layer. Then, in order to evaluate the physical properties of the impurity band characteristics toward realizing an intermediate band solar cell material, the evaluation of the Cr-added CGS thin film was proceeded. In PL emission, it seems to be a great achievement that 1.5eV impurity band emission could be confirmed in parallel with 2.43eV bandgap emission. These results are expected to greatly promote the operational demonstration of impurity band type solar cells based on wide-gap CGS materials.

研究分野：化合物半導体

キーワード：ワイドギャップ半導体 CuGaS₂半導体 不純バンド型太陽電池 中間バンド型太陽電池 スパッタ成膜法

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

今後の世界のエネルギー政策の中長期的展望において2100年ころ、一次エネルギーの64%を担うのは太陽光エネルギーであるとドイツの環境諮問評議会(WBGU)が予測した。一方、太陽電池生産に係る各種金属資源の将来消費予測も実施されており、消費量が2050年までに現有埋蔵量の数倍から数十倍を超えてしまう金属が多数あることも指摘されている。資源制約をいかに打破して高効率太陽電池イノベーションに繋げるかが求められる。

本研究では、高機能新規材料として中間バンド型材料開拓を目指しており、カルコパイライト結晶 CuGaS_2 薄膜の開発研究及びその母体材料に磁性不純物のドーピング効果を調べることを目的とする。この種の化合物半導体に遷移金属を不純物として添加することにより中間バンド形成が原理的に予言されており、中間バンド動作の実証ははまだ報告されていない。ここでいうマルチバンドとは材料の電子構造は三つ以上の電子エネルギーバンドを持つことであり、それぞれのバンド間は電子の熱励起が抑えられ、光励起だけが許されることを意味する。このような材料は応用範囲が広く考えられ、理論的には最大集光下で63%の効率が達成される次世代高効率太陽電池としてIBSCや高効率光変電デバイスに応用可能な新規薄膜材料として注目を浴びている。これは現行の単結晶Si太陽電池の2-3倍の効率である。

2. 研究の目的

太陽光スペクトルのうち本来であれば透過してしまう長波長の赤外線光を用いた二段階励起により、効率的にキャリアが生成されるようマルチバンド材料探索が必須である。

提案材料系は密度汎関数理論という原理的計算手法に基づいて詳細に材料特性が見極められており、図1にはその結果を示す。計算により得られた主要な知見は以下である—①Cr添加により CuGaS_2 母体のバンドギャップ中に中間バンドの生成、②Cr添加全後のVB-CBギャップ直接型バンドギャップの特性

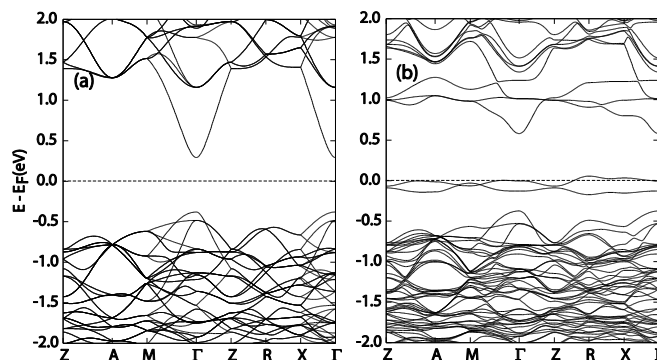


図1：電子構造—(a) CuGaS_2 母体、(b)Cr添加 CuGaS_2

を維持、③フェルミエネルギーの準位は中間バンド中に存在。特に、③の結果は二段階光吸収を促進することと重要な関係を持っており、中間バンド動作において必要条件である。

3. 研究の方法

本研究計画は (1) 高品質CGS結晶薄膜合成と材料評価、(2) ワイドギャップCGS太陽電池デバイスの作製及び評価、及び(3) 不純物バンド電子構造の光学特性分析評価という3つの項目からなる。研究期間を三年間であり、研究計画及び方法は以下の表にまとめた。

平成30年度	
課題1 Mo電極との伝導制御	太陽電池の電極層であるモリブデン(Mo)をガラス基板上にスパッタ成膜実施。スパッタ条件の最適化、薄膜の表面・断面観察評価。電極層の伝導特性及び光学特性の評価。
課題2 多元スパッタ成膜手法開発	ワイドバンド型光吸収層である CuGaS_2 をガラス基板/Mo膜上にスパッタ成膜実施。スパッタ条件の最適化、薄膜の表面・断面観察評価。薄膜のEDAX評価による組成制御及び結晶性のXRD評価

令和1年度

課題1 ワイドギャップ電池: バッファ層	ZnCdS など低 Cd 含有バッファ層薄膜の成膜及び CGS 膜との整合性評価 光吸収層における温度依存伝導特性及びフォトルミネッセンス(PL)評価 薄膜の EDAX 評価による組成制御及び結晶性の XRD 評価
課題2 ワイドギャップ電池: 窓層	上層部の n-AlZnO 窓層のスパッタ成膜及び多層膜電池の構造作製 伝導特性評価 電極層とのオーミック伝導特性へのアニールの影響評価

令和2年度

課題1 ワイドギャップ電池動作実証	熱式真空蒸着により上層部の金属電極層の成膜及び電池構造の作製評価 光照射下 I-V 特性評価 外部量子効率評価
課題2 磁性不純物バンド評価	Cr 添加 CGS の PL 及びレーザー変調反射分光法(PR)より中間バンド特性評価 結晶性及び光学特性の比較評価及び改善を検討 磁性不純物のドーピング効果の分析評価

4. 研究成果

4.1 ワイドギャップ CuGaS₂の成膜: ワイドギャップ CuGaS₂(以下、CGS)の成膜において、多元スパッタ成膜を進めた。EDX 分析では硫黄組成比が少ない結果が得られたので硫黄の組成制御が物性改善へどのような影響を与えるかを調べるため、硫黄雰囲気中アニールを行った。

図 2(a)にはスパッタ法で成膜した CGS 試料の斜入射角 X 線回折結果を示す。CGS の 112 ピーク強度が硫黄雰囲気では 40 倍くらい強い強度を持ち、その半値幅は約 100 分 1 ほど狭くなっており、大幅な結晶性改善が得られた結果となった。この結果は結晶粒サイズが大きくなったことを示唆し、硫黄中アニールが結晶粒の形成過程へ大きな影響を与えたことが推察される。そのため、これらの CGS 薄膜の原子力顕微鏡 (AFM) 観察を行っており、図 2(b)–(c)に 5 μm × 5 μm 領域の表面モルフォロジーを示す。やはり、硫黄アニールすることで CGS 膜内の小さい結晶粒が他の結晶粒と合体することでその数が大分減少し、全体として大型の結晶粒が形成された結果が得られた。

一方、図 3(左)の光吸収スペクトル評価では本来、長波長領域までバンド端揺らぎを持つ CGS 試料は硫黄アニールしたことで急峻なバンド端へ回復した結果を示した。また、図 3(右)のフォトルミネッセンス (PL) 評価では硫黄中アニール効果により発光強度が数倍ほど強くなり、光学特性が大分改善できた結果が得られた。PL スペクトルに見られた振動は薄膜の上下の光干渉によるものである。

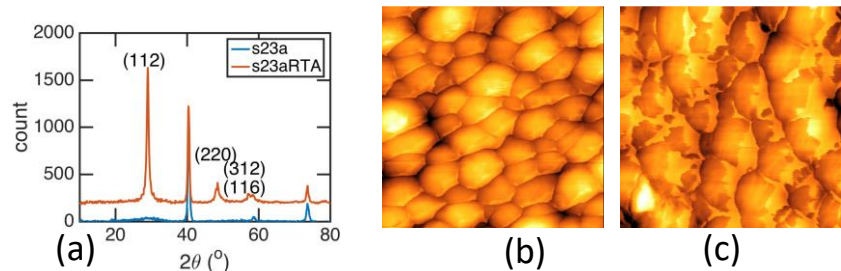


図 2: CGS 薄膜における硫黄アニール: (a)X 線回折、(b)–(c)AFM モルフォロジー。S23a 及び S23aRTA は硫黄アニール前及び後の試料。

一方、図 3(左)の光吸収スペクトル評価では本来、長波長領域までバンド端揺らぎを持つ CGS 試料は硫黄アニールしたことで急峻なバンド端へ回復した結果を示した。また、図 3(右)のフォトルミネッセンス (PL) 評価では硫黄中アニール効果により発光強度が数倍ほど強くなり、光学特性が大分改善できた結果が得られた。PL スペクトルに見られた振動は薄膜の上下の光干渉によるものである。

一方、図 3(左)の光吸収スペクトル評価では本来、長波長領域までバンド端揺らぎを持つ CGS 試料は硫黄アニールしたことで急峻なバンド端へ回復した結果を示した。また、図 3(右)のフォトルミネッセンス (PL) 評価では硫黄中アニール効果により発光強度が数倍ほど強くなり、光学特性が大分改善できた結果が得られた。PL スペクトルに見られた振動は薄膜の上下の光干渉によるものである。

一方、図 3(左)の光吸収スペクトル評価では本来、長波長領域までバンド端揺らぎを持つ CGS 試料は硫黄アニールしたことで急峻なバンド端へ回復した結果を示した。また、図 3(右)のフォトルミネッセンス (PL) 評価では硫黄中アニール効果により発光強度が数倍ほど強くなり、光学特性が大分改善できた結果が得られた。PL スペクトルに見られた振動は薄膜の上下の光干渉によるものである。

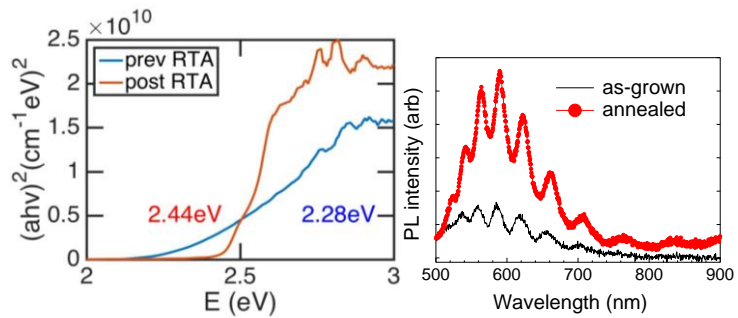


図 3: CGS 薄膜の光学特性における硫黄アニールの影響: (左) 光吸収スペクトル、(右)アニール前及びアニール後の PL 発光

4.2 ワイドギャップ母体太陽電池設計と試作

①低 Cd 含有バッファ層及び電池設計：カルコパイライト構造太陽電池では CdS バッファ層の利用が一般的であるが、本研究では ZnS 合金化を検討し、電池構造を設計した。図 4 では低 Cd 含有 IBSC 構造に向けて、Cr 添加 CGS に対する電子取出層のバンドラインアップを示し、CdS 及び ZnS との比較検討を行った。CGS と CdS の CB 間では負の CB オフセットがあり、CGS で励起された電子エネルギーの損失となる。一方、CGS と ZnS の CB 間では CB オフセットはほとんどないことで電子エネルギーが維持され、高い開放電圧が期待される。図 5(a)では IBSC 電池構造を示す。

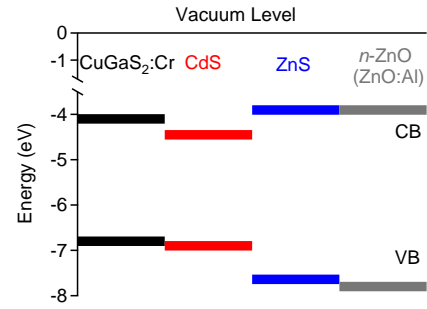


図 4: バッファ層のバンドラインアップ

ガラス基板上に Mo 下部電極層/p 型 CGS エミッター層/真性 i-CGS:Cr 中間バンド層/n 型 ZnS バッファ層/n 型 ZnO エミッター層/Al 上部電極からなる多層膜構造である。図 5(b)ではドリフト拡散モデルに

基づいて計算した IBSC 電池構造のバンドダイアグラムを示す。上部の n 型コンタクト層 (n-ZnO/n-ZnS) 及び Cr 添加 CGS 膜の界面付近では CB オフセットがほとんどないこと

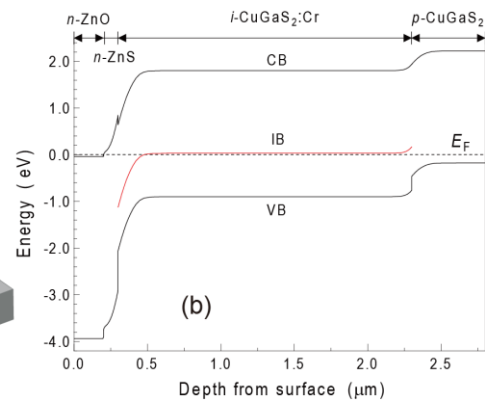
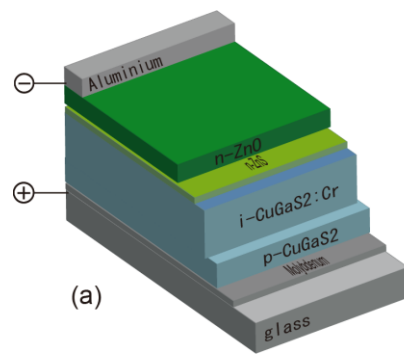
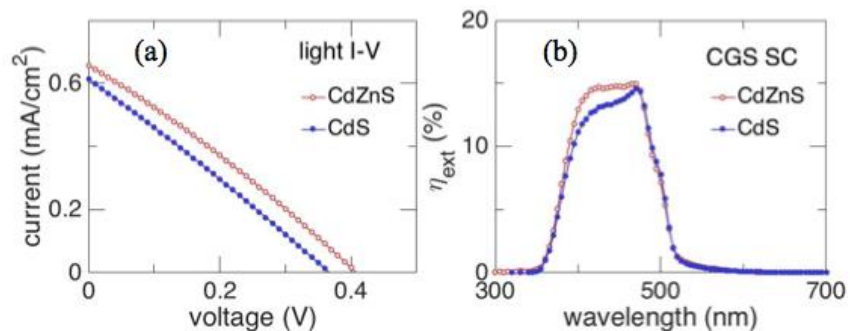


図 5: (a)IBSC 太陽電池の多層膜構造及び(b)バンド・ダイアグラム

で、光電流取り出しの向上が期待できる。

②ワイドギャップ CuGaS₂ の薄膜太陽電池試作：CuGaS₂ 母体薄膜太陽電池の試作に向けて、図 5(a)に示す構造に IB 層の代わりに、CGS 母体多層膜構造を作製した。主な目的は CGS に適した Cd 組成を低減したバッファ層の模索であり、今回は Chemical Bath Deposition (CBD) で成膜した CdS と Zn を添加した Cd_{0.8}Zn_{0.2}S (以下、CZS) バッファの太陽電池を比較評価した。

その後、CBD で CdS と CZS を成膜し、ZnO (窓層)と Al:ZnO (TCO)を RF スパッタリングで成膜した。まず、図 6(a)では、CdS バッファ層に



は、CdS バッファ層に

Zn を添加することで太陽電池特性が向上していることが分かる。CdS バッファ層の場合、 $V_{oc} = 0.36V$ 、 $J_{sc} = 0.61mA/cm^2$ 、 $FF = 0.27$ であった反面、CZS では、 $V_{oc} = 0.40V$ 、 $J_{sc} = 0.66mA/cm^2$ 、 $FF = 0.28$ になっている。続いて、図 6(b)ではそれぞれの太陽電池構造における外部量子効率 (EQE)を示しており、短波長領域における EQE では Zn を添加することで量子効率の向上し

ていることが分かる。これは、CdS に Zn の添加がバッファの E_g をワイドし、太陽電池特性が向上したと推察される。CGS の E_g (2.4eV) が CdS の E_g (2.4eV) に近いため、 E_g 以上のエネルギーを持つ光が上層部の CdS バッファにも吸収される。また、その結晶性が不十分であり、短波長において、生成キャリアのコレクションが少ないことも示唆される。一方 Zn の添加で、バッファの E_g が広くなり、CGS が短波長の光を吸収でき、EQE が増えたと考えられる。

4.3 磁性不純物添加及び不純物バンド評価： 図 7 はスパッタ法で成膜した Cr 添加 CGS 試料

(s18bRTA) の斜入射角 X 線回折結果を示す。同様な条件で成膜した Cr 添加のない CGS 試料(s23aRTA)を同図に示す。112 ピークを含め、他の回折ピークも Cr 添加前後で同様な入射角度で現れ、Cr 添加後に追加のピークは見つからないため、Cr 添加由来の異なる相を生成しないことを示唆する。また、回折ピークも Cr 添加前後で同様な入射角度で現れたことから Cr 添加が結晶格子に与えた影響が少ないことが考えられる。これは Cr のイオン半径は置換サイト Ga のイオン半径とほぼ同じくらいであるからであると思われる。

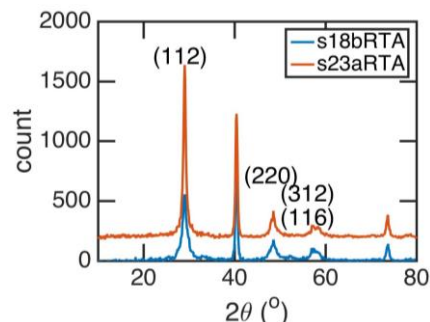


図 7：Cr 添加 GGS の X 線回折：S23aRTA (添加前)、s18bRTA(添加後)

図 8 は Cr 添加 CGS 試料の硫黄中アニール前後のフォトルミネッセンス (PL) 結果を示す。CGS バンド端発光の 2.4eV に比べて、Cr 添加試料で 1.52eV に PL 発光が観測された。試料のバンドギャップ中の発光は欠陥由来のものであり、Cr 添加試料では Cr 不純物バンド由来のものであると示唆される。一般的には深い欠陥は非発光中心センターとしてキャリア再結合損失を生ずるがここでは発光特性が得られたことが中間バンド型太陽電池材料として今後の高効率太陽電池や新規デバイス・インベーションへの期待が大きい。

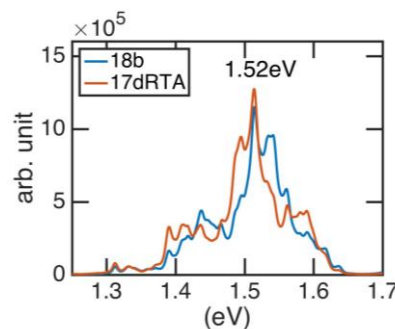


図 8：Cr 添加 GGS 薄膜の PL 特性：18b(アニール前)及び 17dRTA (後)

以上、本研究では主に二つの研究課題を進めた。試作した太陽電池は CGS 母体材料のみの電池構造であり、中間バンド型太陽電池にむけたワイドギャップ母体電池の動作が実証できた。初の試作動作であるものの変換効率はわずか 0.1%と低い値を示した。結晶粒サイズの大型化及び結晶粒形成過程解明を進めることで光生成キャリアの拡散長増大により短絡電流及び開放電圧の改善で母体太陽電池のエネルギー変電の効率化が可能である。そして、本研究で得た不純物バンド型材料で母体材料を置換することで高効率中間バンド型太陽電池の実現が期待できる。

<引用文献>

- ①Logu Ahsan, et al. “Engineering of sub-band in CuGaS₂ thin films via Mo doping by chemical spray pyrolysis route”, Thin Solid Films, 709 巻、2020、138252_1–20
- ②Kalainathan, Ahsan et al. “Tailoring sub-bandgap of CuGaS₂ thin film via chromium doping by facile chemical spray pyrolysis technique”, Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 29 巻、2018、19359–19367
- ③Ahsan et al. “Multiband Formation in Cr doped CuGaS₂ Thin Films Synthesized by Chemical Spray Pyrolysis”, IEEE 44th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), 2017、2334–2337

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Thirumalaisamy Logu, Ahsan Nazmul, Sivaperuman Kalainathan, Kim Myeongok, Kunjithapatham Sethuraman, Okada Yoshitaka	4. 巻 709
2. 論文標題 Engineering of sub-band in CuGaS ₂ thin films via Mo doping by chemical spray pyrolysis route	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Thin Solid Films	6. 最初と最後の頁 138252 ~ 138252
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tsf.2020.138252	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 Bernice Mae Yu Jeco-Espaldon, Haibin Wang, Achilles E. Espaldon, Takaya Kubo, Hiroshi Segawa, Nazmul Ahsan, Yoshitaka Okada	4. 巻 10
2. 論文標題 Application of perovskite quantum dots in carrier redistribution in III-V multijunction solar cells with luminescent coupling effect	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Photonics for Energy	6. 最初と最後の頁 42005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/1.JPE.10.042005	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 Yu Jeco Bernice Mae F., Veinberg-Vidal Elias, Vauche Laura, Yoshida Katsuhisa, Tamaki Ryo, Ahsan Nazmul	4. 巻 9
2. 論文標題 Luminescent coupling effect in wafer-bonded III-V on silicon multijunction solar cells	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Photonics for Energy	6. 最初と最後の頁 1~1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/1.JPE.9.015504	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 Yu Jeco Bernice Mae F., Veinberg-Vidal Elias, Vauche Laura, Ahsan Nazmul, Okada Yoshitaka	4. 巻 9
2. 論文標題 Temperature dependence of wafer-bonded III-V on silicon multijunction solar cells with luminescent coupling effect	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Photonics for Energy	6. 最初と最後の頁 1~1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/1.JPE.9.015503	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 Naoya Miyashita, Yilun He, Nazmul Ahsan, and Yoshitaka Okada	4. 巻 HMA2019
2. 論文標題 Anneal mediated deep-level dynamics in GaInNAsSb dilute nitrides lattice-matched to GaAs	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 143104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5111588@jap.2019.HMA2019.issue-1	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 Kalainathan S., Ahsan N., Hoshii T., Okada Y., Logu T., Sethuraman K.	4. 巻 29
2. 論文標題 Tailoring sub-bandgap of CuGaS ₂ thin film via chromium doping by facile chemical spray pyrolysis technique	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Materials Science: Materials in Electronics	6. 最初と最後の頁 19359 ~ 19367
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10854-018-0065-2	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 該当する

1. 著者名 Miyashita Naoya, He Yilun, Ahsan Nazmul, Agui Takaaki, Juso Hiroyuki, Takamoto Tatsuya, Okada Yoshitaka	4. 巻 185
2. 論文標題 Incorporation of hydrogen into MBE-grown dilute nitride GaInNAsSb layers in a MOCVD growth ambient	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Solar Energy Materials and Solar Cells	6. 最初と最後の頁 359 ~ 363
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.solmat.2018.05.043	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 Yu Jeco Bernice Mae F., Sogabe Tomah, Ahsan Nazmul, Okada Yoshitaka	4. 巻 8
2. 論文標題 Temperature dependence of luminescence coupling effect in InGaP/GaAs/Ge triple junction solar cells	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Photonics for Energy	6. 最初と最後の頁 1 ~ 1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/1.JPE.8.022602	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 -

〔学会発表〕 計25件（うち招待講演 11件 / うち国際学会 19件）

1. 発表者名 N. Ahsan and Y. Okada
2. 発表標題 Materials and Device Design for Thin-film intermediate band solar cells
3. 学会等名 International Association of Advanced Materials, Sweden (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 N. Ahsan and Y. Okada
2. 発表標題 Novel semiconductor materials for next generation solar cells
3. 学会等名 VIRTUAL CONFERENCE ON PHOTOVOLTAIC AND MATERIALS SCIENCE (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 N. Ahsan and Y. Okada
2. 発表標題 Highly mismatched semiconductor alloys for high efficiency solar cells
3. 学会等名 International Virtual Conference on CO2 and Green Technologies (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 N. Ahsan and Y. Okada
2. 発表標題 Prospects in thin-film intermediate band solar cells
3. 学会等名 2nd WORLD SUMMIT on ADVANCES in SCIENCE, ENGINEERING, and TECHNOLOGY (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 N. Ahsan and Y. Okada
2 . 発表標題 Current issues in thin-film intermediate band solar cells
3 . 学会等名 6th International Conference on Nanotechnology, Nanomaterials & Thin Films for Energy Applications (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Nazmul Ahsan and Yoshitaka Okada
2 . 発表標題 Prospects in thin-film intermediate band Solar Cells
3 . 学会等名 2nd world summit on advances in science, engineering and Technology, Indianapolis (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Nazmul Ahsan and Yoshitaka Okada
2 . 発表標題 Current issues in thin-film intermediate band solar cells
3 . 学会等名 6th International Conference on Nanotechnology, Nanomaterials & Thin Films for Energy Applications (NANOENERGY2019), Kuala Lumpur (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 M. Kim, N. Ahsan, Z. J. Li Kao, T. Logu, S. Kalainathan, and Y. Okada
2 . 発表標題 CuGaS2 for its Potential Wide Bandgap Solar Cell Application
3 . 学会等名 Next Generation High-Efficiency Photovoltaics International School and Workshop, Palma (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名	B. M. Yu Jeco, A. Chikhalkar, M. Giteau, R. Tamaki, N. Ahsan, R. King, and Y. Okada
2. 発表標題	The influence of Al ₂ O ₃ passivation of III-V on Ge multijunction solar cells to the spatial distribution of luminescent coupling effect
3. 学会等名	46th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC46), Chicago (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	N. Miyashita, N. Ahsan, Y. Okada, R. Tatavarti, A. Wibowo, and N. Pan
2. 発表標題	Epitaxial Lifted-Off Thin Film GaInP/GaAs/GaInNAsSb Lattice-Matched Triple Junction Solar Cells
3. 学会等名	46th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC46), Chicago (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	N. Miyashita, Y. He, N. Ahsan, and Y. Okada
2. 発表標題	Effect of Annealing on The Bottom Cell in GaInP/GaAs/GaInNAsSb Triple Junction Solar Cells by MBE/MOCVD Hybrid Growth
3. 学会等名	Compound Semiconductor Week 2019 (CSW2019), Nara (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	金明玉, アーサン・ナズムル, 三浦七輝, イエル・リー・ザッカリー, 岡田至崇
2. 発表標題	スパッタ成膜したCuGaS ₂ の硫化及び光学特性の制御
3. 学会等名	第67回応用物理学会春季学術講演会, 東京
4. 発表年	2020年

1. 発表者名 三浦七輝, 金明玉, アーサン・ナズムル, 岡田至崇
2. 発表標題 熱蒸着したn-ZnS 薄膜の物性評価
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会, 東京
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Run Fa Jonny Qiu, Nazmul Ahsan, Thirumalaisamy Logu, Vijayan Karthikeyan, Myeongok Kim, Kalainathan Sivaperuman, and Yoshitaka Okada
2. 発表標題 Study of Te Substituted CuGaS ₂ (CuGa(S,Te) ₂) Thin Films Deposited by Chemical Pyrolysis
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会, 東京
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Logu Thirumalaisamy, Nazmul Ahsan, Kalainathan Sivaperuman, Sethuraman Kunjithapatham, and Yoshitaka Okada
2. 発表標題 Effect of Sn doping in CuGaS ₂ thin films deposited by chemical spray pyrolysis
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会, 東京
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 N. Ahsan, S. Kalainathan, Y. Okada
2. 発表標題 Multi-bandgap absorption in chalcopyrite CuGaS ₂ by transition metal doping
3. 学会等名 International Conference on Catalysis Science, Engineering, and Technology, Plasma Science and Technology, Stockholm (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 N. Ahsan, S. Kalainathan, Y. Okada
2 . 発表標題 Next generation solar cell technology
3 . 学会等名 9th annual symposium on Interdisciplinary science and technology for safety and quality of life, Tsukuba (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 H. Matsubayashi, N. Ahsan, M. Kim, S. Kalainathan, Y. Okada
2 . 発表標題 Characterization of sputtered CuGaS ₂ thin films for solar cells
3 . 学会等名 The 7th Korea-Japan Joint Seminar on PV, Seoul (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 M. Kim, N. Ahsan, Zacharie Jehl Li Kao, H. Matsubayashi, S. Kalainathan, and Y. Okada
2 . 発表標題 Majority Carrier Transport between CuGaS ₂ and Mo Thin Films for Solar Cells Application
3 . 学会等名 The 7th Korea-Japan Joint Seminar on PV, Seoul (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 N. Ahsan, S. Kalainathan, Y. Okada
2 . 発表標題 Emerging semiconductors for next generation solar cells
3 . 学会等名 International Conference on Innovative and Emerging Technologies for Farming, Energy, Environment, Water (ITsFEW 2018), Vellore (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 N. Ahsan, S. Kalainathan, Y. Okada
2. 発表標題 Emerging semiconductors-Highly Mismatched Alloys - for solar cells
3. 学会等名 International Workshop on Material Technology and Applications (IWMTA 2018), Vellore (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kalainathan Sivaperuman, Nazmul Ahsan, and Yoshitaka Okada
2. 発表標題 GROWTH, STRUCTURAL AND OPTICAL ANALYSIS OF MO DOPED CuGaS ₂ THIN FILMS BY SPRAY PYROLYSIS
3. 学会等名 The Grand Renewable Energy 2018 (GRE2018) international conference, Pacifico Yokohama (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nazmul Ahsan, Hiroya Matsubayashi, Kim Myeongok, Zacharie Jehl, Kalainathan Sivaperuman, and Yoshitaka Okada
2. 発表標題 CuGaS ₂ thin films deposited by magnetron sputtering
3. 学会等名 The Grand Renewable Energy 2018 (GRE2018) international conference, Pacifico Yokohama (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 【12】 Myeongok Kim, Nazmul Ahsan, Zacharie Jehl Li Kao, Hiroya Matsubayashi, Kalainathan Sivaperuman, Yoshitaka Okada
2. 発表標題 Dependence of Electrical Contact between CuGaS ₂ and Mo Thin Films on Sputtering Conditions
3. 学会等名 2018年第79回応用物理学会秋季学術講演会、名古屋
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 【3】松林宏弥, アーサン・ナズムル, 金明玉, シヴァベルマン カライナザン、岡田至崇
2. 発表標題 同時スパッタ法による薄膜CuGaS ₂ の作製
3. 学会等名 2018年第79回応用物理学会秋季学術講演会、名古屋
4. 発表年 2018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
---------	---------