

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H02661

研究課題名（和文）マルチバンドギャップ半導体を用いた中間バンド型太陽電池における光電変換機構の解明

研究課題名（英文）Photovoltaic conversion mechanism in intermediate band solar cells using multiple-bandgap semiconductors

研究代表者

田中 徹（TANAKA, Tooru）

佐賀大学・理工学部・教授

研究者番号：20325591

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：従来のバンドギャップ中に新たなエネルギーバンドを有する材料を用いた中間バンド型太陽電池は、中間バンドを介した光吸収により透過損失を抑制できるため、変換効率の飛躍的向上が期待されている。本研究では、バルクの性質としてマルチバンドを有するZnTeO系マルチバンドギャップ半導体に着目し、本材料を用いた中間バンド型太陽電池における光励起キャリアの挙動を含めた光電変換機構を明らかにすることで、高効率化のための道筋を明確化するとともに、その制御技術を確立することを目的とし研究を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

太陽電池が将来のエネルギー源として中心的役割を果たすためには、変換効率の飛躍的な向上が不可欠であり、理論効率限界を打ち破る新しい概念に基づく超高効率太陽電池の開発が必要である。本研究では、その候補の一つであるマルチバンドギャップ半導体ZnTeOを用いた中間バンド型太陽電池について、効率向上の鍵である二段階光吸収を増大させるため、太陽電池内での光励起キャリアの挙動について研究を行うことで、高効率化のための指針を明らかにしている。

研究成果の概要（英文）：Intermediate band solar cells (IBSCs), which use materials with additional energy bands in the conventional bandgap, are expected to dramatically improve conversion efficiency of solar cells by absorbing broad range of solar spectrum through the intermediate band. In this study, we focused on the IBSCs based on ZnTeO-based multiple-bandgap semiconductors which have multiple bands as bulk properties, and investigated the photovoltaic conversion mechanisms of the ZnTeO-based IBSCs, including the behavior of photoexcited carriers in the intermediate band and conduction band. The results of this study pave the way for further improvements.

研究分野：半導体電子工学

キーワード：マルチバンドギャップ半導体 中間バンド型太陽電池 高不整合材料

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役割を果たすためには、変換効率の飛躍的な向上が不可欠であり、Shockley-Queisser による理論効率限界を打ち破る新しい概念に基づく超高効率太陽電池の開発が期待されている。

中間バンド型太陽電池 (図 1) はその候補の一つであり、従来のバンドギャップの中に新たにバンドが存在する物質を用いた太陽電池であり、中間バンドを介した電子遷移が生じることで、従来透過損失していた光を吸収することができるので、光電流を増加できる。一方、電圧は中間バンド材料を挟んだ p 型、 n 型半導体のフェルミレベルの差で決まるので、電圧を落とすことなく電流を増加できることから、エネルギー変換効率の理論値は 60% 以上と報告されている。実験的にはすでに 25% を超える高い変換効率が報告されており、有望な動作方式であるといえる。

本研究で着目したマルチバンドギャップ半導体は、ホスト材料に対して電気陰性度の大きく異なる元素をわずかに (~5%) 導入した高不整合材料により得られ、添加元素に起因する局在準位と本来の伝導帯との間で生じるバンド反交差作用により、中間バンド (IB, E_-) と上部バンド (CB, E_+) が形成される。酸素を添加した ZnTe の場合、図 2 に示すように、酸素に起因する不純物準位 (E_0) と元来の伝導帯 (E_M) との間でバンド反交差を生じ、 E_- , E_+ サブバンドが形成される。この E_- サブバンドを中間バンドとして活用することにより、透過損失の抑制が期待できる。

これまでの研究により、ZnTeO 中間バンド型太陽電池において、中間バンドを介した二段階光吸収による電流生成を実証してきた。また、窓層材料の改善、ZnTeO への Cl 添加による中間バンドへの電子ドーピングにより、開放電圧および二段階光吸収電流の向上を達成した。しかし、変換効率は理論値に比べて低く、更なる研究が必要である。

2 . 研究の目的

中間バンドの活用により高効率を達成するには、中間バンド内に光励起されたキャリアの寿命が十分長いこと、さらに中間バンド 伝導帯への光励起が効率よく生じることが必須である。また、伝導帯へ光励起されたキャリアを効率良く光電流として外部に取り出すことも重要である。本研究では、マルチバンドギャップ半導体を用いた中間バンド型太陽電池における光励起キャリアの挙動を含めた光電変換機構を明らかにすることで、高効率化のための道筋を明確化するとともに、その制御技術を確認することを目的とし研究を行った。

3 . 研究の方法

ZnTeO 系中間バンド型太陽電池は、分子線エピタキシー法を用いて ZnTe(100) 基板上に作製した。原料には、高純度 Zn, Te, Cd, Al, ZnS を使い、酸素は高純度酸素ガスと高周波プラズマ銃を用いて酸素ラジカルとして供給した。

本研究では、(1) 中間バンドへの電子ドーピング効果の解明、(2) 中間バンドにおける光励起キャリアの脱出機構の解明と制御、(3) 伝導帯のバンドエンジニアリングによるキャリア取り出し効率の改善、(4) キャリアの緩和・再結合を抑制できる新方式の検討の 4 項目について、研究を行った。

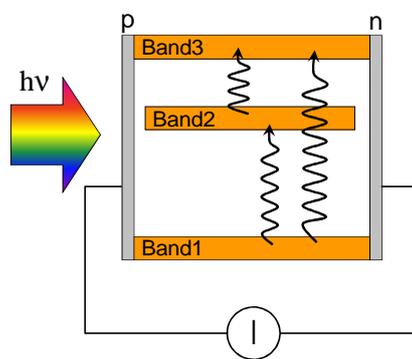


図 1 中間バンド型太陽電池

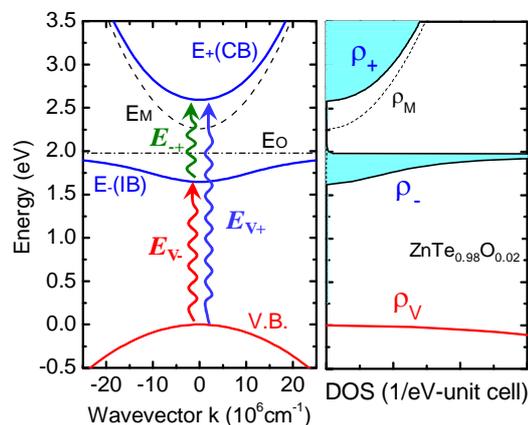


図 2 ZnTeO のエネルギーバンド

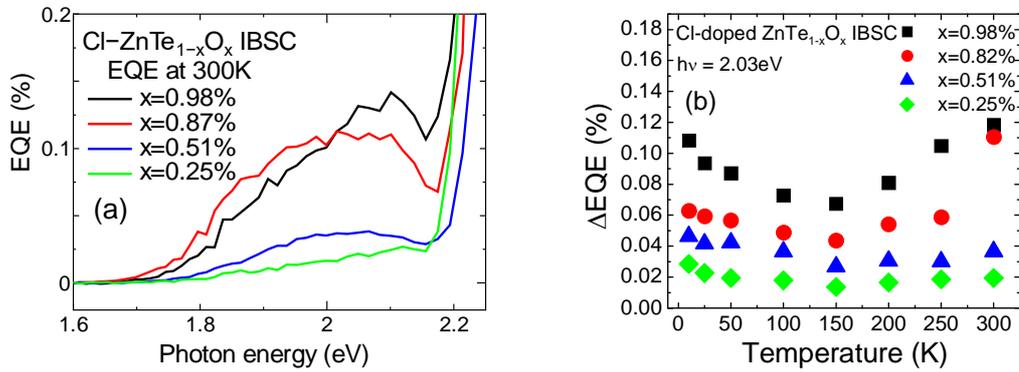


図3 O濃度の異なるClドーピングZnTeO中間バンド型太陽電池の(a)300Kにおける二段階光吸収電流 ($\Delta EQE = EQE_{IR-ON} - EQE_{IR-OFF}$) 特性と(b) ΔEQE の温度依存性

4. 研究成果

(1) 中間バンドへの電子ドーピング効果の解明

中間バンド 伝導帯の光励起効率を向上するためには、中間バンドの電子の占有確率を上げることが必要であり、以前の研究により、中間バンドへの電子ドーピング手法として ZnTeO への Cl 添加を見出していた。ZnTeO では中間バンドの状態密度は O 濃度に依存するので、種々の O 濃度に対する Cl ドーピング効果を明らかにするため、様々な O 濃度の ZnTeO に対して Cl ドーピングを系統的に行い、各種特性の評価を行った。図 3(a)に O 濃度の異なる Cl ドーピング ZnTeO 中間バンド型太陽電池の中間バンドを介した二段階光吸収電流 ($\Delta EQE = EQE_{IR-ON} - EQE_{IR-OFF}$) 特性を示す。O 濃度の増加と共に、 ΔEQE が増加していること、および、 ΔEQE の立ち上がりが低エネルギー側にシフトしていることが分かる。O 濃度の増加により中間バンドの状態密度が増加した結果、中間バンドに励起される電子が増加し、 ΔEQE が増加したと考えられる。また、O 濃度の増加により E-中間バンドが下がるので、立ち上がりエネルギーがシフトしたと考えられる。図 3(b)に ΔEQE の温度依存性を示す。いずれのサンプルも 10K から 150K までの温度上昇により、 ΔEQE は減少傾向を示したが、150K 以上の温度域において ΔEQE は増加した。低温での ΔEQE の減少は、ブロック層内の欠陥準位の活性化による中間バンドからのキャリア流出を示唆していると考えられる。一方、150K 以上における ΔEQE の増加は、Cl ドナーの活性化が 150K 程度で生じることが明らかとなっているので、中間バンドの電子濃度の増加に対応していると考えられる。全ての温度域において、O 濃度が高いほど大きな ΔEQE が得られることが明らかとなった。

(2) 中間バンドにおける光励起キャリアの脱出機構の解明と制御

ZnTeO 中間バンド型太陽電池に対して、中間バンドに励起されたキャリアの隣接した層の伝導帯への脱出メカニズムを解明するため、ZnTeO 中間バンド型太陽電池の外部量子効率や二段階光吸収電流の温度依存性や欠陥評価を行い、脱出パスの評価を行った。結果の一部は(1)にて述べた。

さらに、二段階光吸収電流を系統的に評価するため、価電子帯(VB)から中間バンド(IB)、中間バンド(IB)から伝導帯(CB)への二種類の励起エネルギーに相当するレーザー光を用いた自動測定システムを構築した。

本測定システムを用いて、ZnCdTeO 中間バンド型太陽電池の二段階光吸収電流($\Delta I = I_{IR-ON} - I_{IR-OFF}$)の温度および照射強度依存性を評価した結果を図 4 に示す。IB→CB に相当する赤外(IR)レーザー光強度一定の下、VB→IB の励起レーザー光強度を変化させた結果、低温領域で ΔI は VB→IB レーザー光強度の増加により増加するが、室温に近づくにつれて増加量が減少することが分かった。これより、温度上昇によ

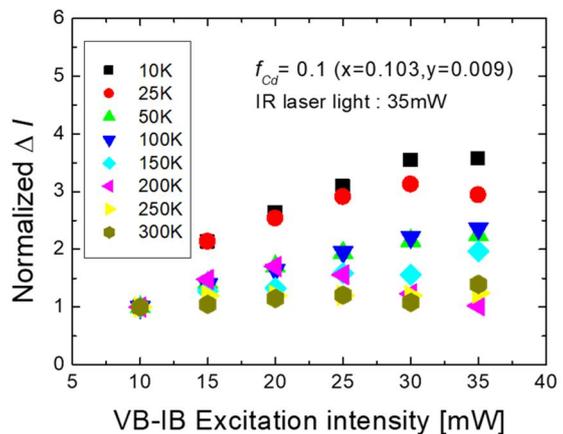


図4 ZnCdTeO 中間バンド型太陽電池の二段階光吸収電流 ($\Delta I = I_{IR-ON} - I_{IR-OFF}$) の VB→IB 励起レーザー光強度依存性。10mW 時の ΔI を 1 とした。

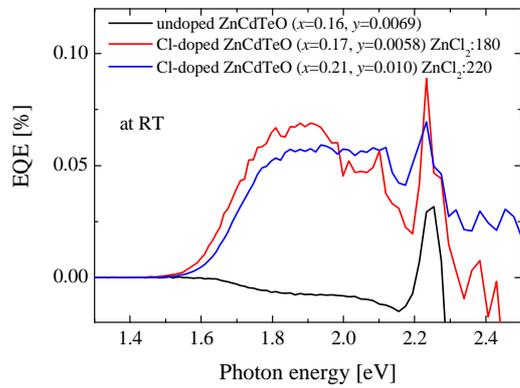


図5 Clドーピングおよびアンドーピング ZnCdTeO 中間バンド型太陽電池の二段階光吸収電流 ($\Delta EQE = EQE_{IR-ON} - EQE_{IR-OFF}$)特性

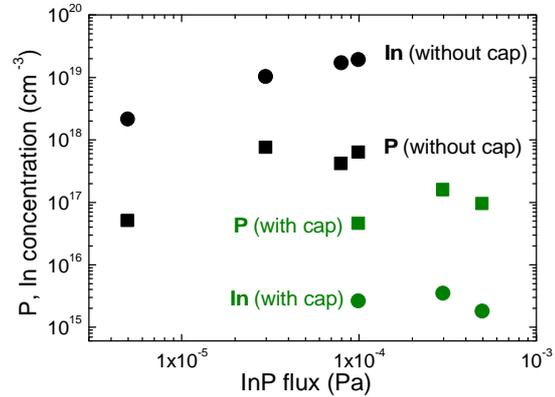


図6 InP 原料をドーピング源に用いて成長したPドーピング ZnTe 薄膜における P, In 濃度と InP フラックスの関係

る中間バンドからの電子の流出が室温動作上の課題であることが分かった。

今後、中間バンドの電子を閉じ込めるブロック層をより強固なものとすることによる特性改善が示唆される。

(3) 伝導帯のバンドエンジニアリングによるキャリア取り出し効率の改善

伝導帯の障壁は光励起キャリアの輸送を阻害し、取り出し効率の低下を招く。従来から用いている ZnTeO/ZnTe 構造の場合、界面に 0.2 ~ 0.3eV 程度の伝導帯オフセットが存在し、深い領域での励起キャリアの取り出しに悪影響を与えられられることから、伝導帯のエネルギーを低下できる ZnCdTeO 混晶に着目した。ZnCdTeO では Cd 組成の増加により伝導帯が低下する。本研究では、まず ZnCdTeO 中間バンド型太陽電池を作製し、Cl ドーピング効果を明らかにした。図5に Cl ドーピングおよびアンドーピング ZnCdTeO 中間バンド型太陽電池の二段階光吸収電流 ($\Delta EQE = EQE_{IR-ON} - EQE_{IR-OFF}$)特性を示す。ZnCdTeO においても、ZnTeO と同様に Cl ドーピングにより二段階光吸収電流を得ることができ、優れたドーピング効果があることが分かった。これらの太陽電池の外部量子効率(EQE)を ZnTeO と比較した結果、2.3 ~ 3.0eV 付近において ZnCdTeO の方が大きな EQE が得られたことから、キャリア取出し効率の改善に効果があることが明らかとなった。

また、中間バンド型太陽電池のブロック層として用いている ZnTe 薄膜について、p 型伝導制御を目的に燐(P)ドーピング実験を進めた。P ソースとして InP を用いて、同時供給法、交互供給法、K セルへのキャップ装着効果を明らかにした。図6に K セルへのキャップ装着有無による ZnTe 薄膜中の P, In 濃度の InP フラックスによる変化を示す。キャップ無しの場合、In が P よりも多く含まれているが、キャップを装着することによって In 濃度を激減できることが分かる。この方法により、 10^{17}cm^{-3} の P 濃度を有する ZnTe 薄膜を得ることが分かった。これらの研究を通して、P ドーピングによるキャリア濃度制御技術を概ね確立することができた。また、太陽電池の n 型透明導電膜およびコンタクト層として可能性のある ZnCdO, Cu_3N , Cu_xO 等の材料についても薄膜の作製を行い、諸特性を明らかにした。

(4) キャリアの緩和・再結合を抑制できる新方式の検討

伝導帯に励起したキャリアの低エネルギーバンドへの緩和・再結合は効率低下の大きな原因である。本研究では、中間バンドを介した再結合を抑制することを目指して、材料・構造設計の観点から、中間バンドに隣接して価電子帯への遷移が非許容となるようなエネルギーバンドの形成や、伝導帯から中間バンドへの遷移が非許容となる状態にすることができないか、理論的考察を進めた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 8件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Mustofa Muhamad, Mishima Seiya, Saito Katsuhiko, Guo Qixin, Tanaka Tooru	4. 巻 62
2. 論文標題 Growth of phosphorus-doped ZnTe thin films by molecular beam epitaxy using InP as the dopant source	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SK1031 ~ SK1031
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/acc8de	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 Tanaka Tooru, Tsutsumi Shuji, Saito Katsuhiko, Guo Qixin, Man Yu Kin	4. 巻 235
2. 論文標題 Improved two-step photon absorption current by Cl-doping in ZnTe0-based intermediate band solar cells with n-ZnS layer	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Solar Energy Materials and Solar Cells	6. 最初と最後の頁 111456 ~ 111456
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.solmat.2021.111456	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 HyoChang Jang, Katsuhiko Saito, Qixin Guo, Kin Man Yu, Wladek Walukiewicz, Tooru Tanaka	4. 巻 867
2. 論文標題 Structural, optical, and electrical properties of WZ- and RS-ZnCdO thin films on MgO (100) substrate by molecular beam epitaxy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds	6. 最初と最後の頁 159033(6pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2021.159033	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 Patwary Md Abdul Majed, Saito Katsuhiko, Guo Qixin, Tanaka Tooru	4. 巻 675
2. 論文標題 Influence of oxygen flow rate and substrate positions on properties of Cu-oxide thin films fabricated by radio frequency magnetron sputtering using pure Cu target	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Thin Solid Films	6. 最初と最後の頁 59 ~ 65
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tsf.2019.02.026	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 Takahashi Kazutoshi, Imamura Masaki, Chang Jang Hyo, Tanaka Tooru, Saito Katsuhiko, Guo Qixin, Yu Kin Man, Walukiewicz Wladek	4. 巻 9
2. 論文標題 Three-dimensional band structure and surface electron accumulation of rs-CdxZn1-x0 studied by angle-resolved photoemission spectroscopy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 8026
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-44423-9	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 Tanaka Tooru, Matsuo Kento, Saito Katsuhiko, Guo Qixin, Tayagaki Takeshi, Yu Kin Man, Walukiewicz Wladek	4. 巻 125
2. 論文標題 Cl-doping effect in ZnTe1-x0x highly mismatched alloys for intermediate band solar cells	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 243109 ~ 243109
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5092553	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 M. Welna, L. Janicki, W. M. Linhart, T. Tanaka, K. M. Yu, R. Kudrawiec, W. Walukiewicz	4. 巻 126
2. 論文標題 Effects of the host conduction band energy on the electronic band structure of ZnCdTe0 dilute oxide alloys	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 083106 ~ 083106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5111600	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 Patwary Md Abdul Majed, Saito Katsuhiko, Guo Qixin, Tanaka Tooru, Man Yu Kin, Walukiewicz Wladek	4. 巻 257
2. 論文標題 Nitrogen Doping Effect in Cu403 Thin Films Fabricated by Radio Frequency Magnetron Sputtering	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 physica status solidi (b)	6. 最初と最後の頁 1900363 ~ 1900363
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pssb.201900363	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 Patwary Md Abdul Majed, Ho Chun Yuen, Saito Katsuhiko, Guo Qixin, Yu Kin Man, Walukiewicz Wladek, Tanaka Tooru	4. 巻 127
2. 論文標題 Effect of oxygen flow rate on properties of Cu4O3 thin films fabricated by radio frequency magnetron sputtering	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 085302 - 085302
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5144205	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 Jang Hyo Chang, Saito Katsuhiko, Guo Qixin, Yu Kin Man, Walukiewicz Wladek, Tanaka Tooru	4. 巻 -
2. 論文標題 Realization of rocksalt Zn _{1-x} Cd _x O thin films with an optical band gap above 3.0 eV by molecular beam epitaxy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 CrystEngComm	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) 10.1039/C9CE02018G	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41件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 17件)

1. 発表者名 Muhamad Mustofa, Katsuhiko Saito, Qixin Guo, and Tooru Tanaka
2. 発表標題 MBE Growth and Characterization of Phosphorus-doped ZnTe Thin Films
3. 学会等名 2022年度日本表面真空学会九州支部学術講演会(九州表面・真空研究会2022), 佐賀大学, 2022年6月11日, 14.
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 谷 大樹, 斎藤勝彦, 郭 其新, 田中 徹
2. 発表標題 CI ドープ ZnCdTeO 中間バンド型太陽電池の光電変換特性の評価
3. 学会等名 2022年度電気・情報関係学会九州支部連合大会, オンライン, 2022年9月16日, 02-1A-07.
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Daiki Tani, Katsuhiko Saito, Qixin Guo, Tooru Tanaka
2. 発表標題 Effect of Cl-doping in ZnCdTe0 on photovoltaic properties of ZnCdTe0 intermediate band solar cells
3. 学会等名 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33), Nagoya, November 15, 2022, TuP-42-01. (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Miho Ohishi, Katsuhiko Saito, Qixin Guo, Tooru Tanaka
2. 発表標題 Effect of nitrogen partial pressure on properties of Cu3N thin films by RF magnetron sputtering
3. 学会等名 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33), Nagoya, November 15, 2022, TuP-42-12. (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Muhamad Mustofa, Katsuhiko Saito, Qixin Guo, Tooru Tanaka
2. 発表標題 The Effect of MBE alternating growth of phosphorus-doped ZnTe thin films
3. 学会等名 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33), Nagoya, November 15, 2022, TuP-42-03. (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 谷 大樹, 齊藤 勝彦, 郭 其新, 田中 徹
2. 発表標題 ClドーピングZnCdTe0中間バンド型太陽電池の光電変換特性の温度依存性
3. 学会等名 2022年応用物理学会九州支部学術講演会, 2022年11月26日, 大分大学, 26Bp-9
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大石 美帆, 齊藤 勝彦, 郭 其新, 田中 徹
2. 発表標題 高周波マグネトロンスパッタリング法によりサファイア基板上に作製したCu ₃ N薄膜の基板温度依存性
3. 学会等名 2022年応用物理学会九州支部学術講演会, 2022年11月26日, 大分大学, 26Bp-10
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Muhamad Mustofa, Katsuhiko Saito, Qixin Guo, Tooru Tanaka
2. 発表標題 Alternating molecular beam epitaxial growth of phosphorus-doped ZnTe thin films
3. 学会等名 The 7th Asian Applied Physics Conference (Asian-APC), November 26-27, 2022, Oita University, 26Ea-2. (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Muhamad Mustofa, Katsuhiko Saito, Qixin Guo, Tooru Tanaka,
2. 発表標題 Effect of P-doping in ZnTe thin films grown by molecular beam epitaxy under alternating supply
3. 学会等名 2023年第70回応用物理学会春季学術講演会, 上智大学 + オンライン, 2023年3月16日, 16a-D221-1.
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 谷 大樹, 齊藤 勝彦, 郭 其新, 田中 徹
2. 発表標題 ClドープZnCdTe ₀ 中間バンド型太陽電池の光電変換特性の温度依存性
3. 学会等名 2023年第70回応用物理学会春季学術講演会, 上智大学 + オンライン, 2023年3月17日, 17p-PB03-6
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Muhamad Mustofa, Katsuhiko Saito, Qixin Guo, Tooru Tanaka
2. 発表標題 Growth of phosphorus-doped ZnTe thin films using InP dopant sources by MBE
3. 学会等名 The 6th Asian Applied Physics Conference (Asian-APC), 4 December, 2021, Online, 4Dp-2. (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 HyoChang Jang, Katsuhiko Saito, Qixin Guo, Tooru Tanaka
2. 発表標題 Growth and characterization of Al-doped and undoped Zn _{1-x} Cd _x O by molecular beam epitaxy under high oxygen flow rate
3. 学会等名 The 6th Asian Applied Physics Conference (Asian-APC), 4 December, 2021, Online, 4Ep-6 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Muhamad Mustofa, Katsuhiko Saito, Qixin Guo, Tooru Tanaka
2. 発表標題 Growth and characterization of phosphorus-doped ZnTe thin films by MBE
3. 学会等名 2022年第69回応用物理学会春季学術講演会, 青山学院大学 + オンライン, 2022年3月25日, 25p-D113-2.
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tooru Tanaka
2. 発表標題 Intermediate band solar cells based on highly-mismatched ZnTeO alloy semiconductors (invited)
3. 学会等名 International Conference on Materials Science and Computation, Online, 21 August 2021. (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 七種朗, Hyo Chang Jang, 齊藤勝彦, 郭其新, 田中徹
2. 発表標題 n型窓層にAlドープ ZnCdOを用いたZnTe太陽電池の作製と評価
3. 学会等名 2021年度応用物理学会九州支部学術講演会, オンライン, 2021年12月4日, 4Bp-10.
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大石美帆, 齊藤勝彦, 郭其新, 田中徹
2. 発表標題 高周波マグネトロンスパッタリング法によるCu ₃ N薄膜の膜特性に及ぼす基板温度及び基板位置の効果
3. 学会等名 2021年度応用物理学会九州支部学術講演会, オンライン, 2021年12月4日, 4Bp-11.
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大石 美帆, 齊藤 勝彦, 郭 其新, 田中 徹
2. 発表標題 RFマグネトロンスパッタ法によるCu ₃ N薄膜の窒素分圧依存性
3. 学会等名 2022年第69回応用物理学会春季学術講演会, 青山学院大学 + オンライン, 2022年3月23日, 23p-E106-5.
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 HyoChang Jang, Katsuhiko Saito, Qixin Guo, Tooru Tanaka, Kin Man Yu, Wladek Walukiewicz
2. 発表標題 Growth of low resistive Al-doped ZnCdO thin films with rocksalt structure for Transparent Conductive Oxide
3. 学会等名 47th IEEE Photovoltaic Specialist Conference, Virtual Meeting, June 15-August 21, 2020. (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三島 聖也, 齊藤 勝彦, 郭 其新, 山根 啓輔, 若原 昭浩, 田中 徹
2. 発表標題 分子線エビタキシー法によるPドーブZnTe薄膜のアニール効果
3. 学会等名 第17回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム, 2020年10月15日, オンライン, PD-22.
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三島 聖也, 齊藤 勝彦, 郭 其新, 田中 徹
2. 発表標題 MBE法を用いて成長したPドーブZnTe薄膜のアニール効果
3. 学会等名 2020年度応用物理学会九州支部学術講演会, オンライン, 2020年11月29日, 29Ba-2.
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 七種 朗, 齊藤 勝彦, 郭 其新, 田中 徹
2. 発表標題 ブロック層にCIドーブZnTeを用いたZnTe0中間バンド型太陽電池の作製と評価
3. 学会等名 2020年度応用物理学会九州支部学術講演会, オンライン, 2020年11月29日, 29Ba-3.
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Md Abdul Majed Patwary, Chun Yuen Ho, Katsuhiko Saito, Qixin Guo, Kin Man Yu, Wladek Walukiewicz, Tooru Tanaka
2. 発表標題 IMPACT OF O2 FLOW ON PROPERTIES OF CU4O3 THIN FILMS FABRICATED BY RF SPUTTERING
3. 学会等名 30th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-30) & Global Photovoltaic Conference 2020 (GPVC 2020), November 8-13, 2020, Jeju, Korea (Hybrid), T6-03-OP-5. (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名	HyoChang Jang, Katsuhiko Saito, Qixin Guo, Kin Man Yu, Wladek Walukiewicz, and Tooru Tanaka
2. 発表標題	HIGH TRANSMITTANCE TRANSPARENT CONDUCTIVE OXIDES OF ROCKSALT-AL-DOPED ZNCO FOR FULL SPECTRUM SOLAR CELLS
3. 学会等名	30th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-30) & Global Photovoltaic Conference 2020 (GPVC 2020), November 8-13, 2020, Jeju, Korea (Hybrid), P2-T6-28. (国際学会)
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	HyoChang Jang, Katsuhiko Saito, Qixin Guo, Tooru Tanaka
2. 発表標題	Influence of oxygen flow rate during the growth of Al-doped ZnCdO thin films by MBE
3. 学会等名	2021年第68回応用物理学会春季学術講演会, オンライン, 2021年3月16日, 16a-Z24-1.
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	七種 朗, 齊藤 勝彦, 郭 其新, 田中 徹
2. 発表標題	ZnTeO 中間バンド型太陽電池の ブロック層へのClドーピングによる効果
3. 学会等名	2021年第68回応用物理学会春季学術講演会, オンライン, 2021年3月17日, 17a-Z35-6.
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	Tooru Tanaka, Katsuhiko Saito, Qixin Guo, Kin Man Yu, and Wladek Walukiewicz
2. 発表標題	Intermediate band solar cells based on highly mismatched II-VI oxide semiconductors (Invited)
3. 学会等名	SPIE Photonics West 2020, 1 - 6 February 2020, San Francisco, 11281-60. (招待講演) (国際学会)
4. 発表年	2020年

1 . 発表者名	Md Abdul Majed Patwary, Katsuhiko Saito, Qixin Guo, Tooru Tanaka, Kin Man Yu, and Wladek Walukiewicz,
2 . 発表標題	Demonstration of Low-Resistive P-Type Cu403 Thin Films by Radio Frequency Sputtering for Low-Cost Thin Film Solar Cells
3 . 学会等名	2019-edition of Compound Semiconductor Week, 46th International Symposium on Compound Semiconductors, Nara, May 23, 2019, ThC1-5. (国際学会)
4 . 発表年	2019年

1 . 発表者名	T. Tanaka, T. Izumi, K. Matsuo, K. Saito, Q. Guo, K. M. Yu, and W. Walukiewicz
2 . 発表標題	Oxygen Concentration Dependence of Photovoltaic Properties of Intermediate Band Solar Cells based on Cl-doped ZnTeO
3 . 学会等名	46th IEEE Photovoltaic Specialist Conference, Chicago, June 19, 2019. (国際学会)
4 . 発表年	2019年

1 . 発表者名	Y. Watanabe, T. Izumi, K. Saito, Q. Guo, T. Tanaka, K. M. Yu, and W. Walukiewicz
2 . 発表標題	MBE growth and characterization of Cl-doped ZnCdTeO layers for intermediate band solar cells
3 . 学会等名	The 19th International Conference on II-VI Compounds and Related Materials, P-35, October 27-31, 2019, Zhengzhou, China. (国際学会)
4 . 発表年	2019年

1 . 発表者名	Md Abdul Majed Patwary, Katsuhiko Saito, Qixin Guo, Tooru Tanaka, Kin Man Yu, Wladek Walukiewicz
2 . 発表標題	Influence of nitrogen doping on properties of Cu403 thin films fabricated by radio frequency magnetron sputtering for low-cost solar cells.
3 . 学会等名	The 4th Asian Applied Physics Conference (Asian-APC), 23 November, 2019, Kumamoto, 23Ep-1. (国際学会)
4 . 発表年	2019年

1. 発表者名 HyoChang Jang, Katsuhiko Saito, Qixin Guo, Tooru Tanaka
2. 発表標題 Influence of oxygen flow rate on properties of Al-doped ZnCdO thin films grown by radical source molecular beam epitaxy
3. 学会等名 The 4th Asian Applied Physics Conference (Asian-APC), 23 November, 2019, Kumamoto, 23Ep-5. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 HyoChang Jang, Katsuhiko Saito, Qixin Guo, Tooru Tanaka, Kin Man Yu, Wladek Walukiewicz
2. 発表標題 Growth and characterization RS-ZnCdO thin films on MgO(100) substrates by molecular beam epitaxy
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2019, December 10-14, 2019, Yokohama. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 HyoChang Jang, Katsuhiko Saito, Qixin Guo, Tooru Tanaka
2. 発表標題 Growth and characterization of ZnCdO thin films on MgO(100) substrates by MBE.
3. 学会等名 第16回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム, 宮崎, 2019年7月4日, PE-24.
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡辺 裕介, 泉 健夫, 福山 耕平, 齊藤 勝彦, 郭 其新, 田中 徹
2. 発表標題 MBE法によるClドーブZnCdTeO薄膜の成長と評価
3. 学会等名 第16回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム, 宮崎, 2019年7月4日, PE-25
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 泉 健夫, 渡辺 裕介, 田中 徹, 齊藤 勝彦, 郭 其新
2. 発表標題 CIドープZnTe0中間バンド型太陽電池における光電変換特性の温度依存性
3. 学会等名 2019年第80回応用物理学会秋季学術講演会, 20a-B12-5, 北海道大学, 2019年9月20日.
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福山 耕平, 田中 徹, 齊藤 勝彦, 郭 其新
2. 発表標題 分子線エビタキシー法を用いたGaAs(110)基板上へのZnSe薄膜成長
3. 学会等名 2019年第80回応用物理学会秋季学術講演会, 18a-E206-1, 北海道大学, 2019年9月18日.
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福山耕平, 齊藤勝彦, 郭其新, 田中徹
2. 発表標題 GaAs(110)面上へのZnSe 薄膜のMBE成長
3. 学会等名 2019年度応用物理学会九州支部学術講演会, 熊本大学, 2019年11月23日, 23Cp-11.
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮原 諒也, 田中 徹, 齊藤 勝彦, 郭 其新
2. 発表標題 ZnSeを含む積層プリカーサのセレン化法によるCu ₂ ZnSnSe ₄ 薄膜の作製と評価
3. 学会等名 2019年度応用物理学会九州支部学術講演会, 熊本大学, 2019年11月24日, 24Dp-4.
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡辺 裕介, 泉 健夫, 齊藤 勝彦, 郭 其新, 田中 徹
2. 発表標題 ZnCdTe0中間バンド型太陽電池におけるCIドーピング効果
3. 学会等名 第4回フロンティア太陽電池セミナー, 広島市, 2019年11月25日, P13.
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三島 聖也, 齊藤 勝彦, 郭 其新, 山根 啓輔, 若原 昭浩, 田中徹
2. 発表標題 InPをドーパント源に用いたPドーブZnTe薄膜のアニール効果
3. 学会等名 第4回フロンティア太陽電池セミナー, 広島市, 2019年11月25日, P4.
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 HyoChang Jang, Katsuhiko Saito, Qixin Guo, Tooru Tanaka
2. 発表標題 Improved properties of low-resistive Al-doped ZnCdO thin films by MBE.
3. 学会等名 2020年第67回応用物理学会春季学術講演会, 上智大学, 2020年3月13日, 13a-D215-2
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

佐賀大学光半導体研究室
<http://www.sc.ec.saga-u.ac.jp/>

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	郭 其新 (GUO Qixin) (60243995)	佐賀大学・シンクロトロン光応用研究センター・教授 (17201)	
研究 分 担 者	齊藤 勝彦 (SAITO Katsuhiko) (40380795)	佐賀大学・シンクロトロン光応用研究センター・助教 (17201)	

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			
米国	Lawrence Berkeley National Laboratory	University of California at Berkeley		
中国	香港城市大学			
ポーランド	Wroclaw Univ. of Science and Technology			