

令和 4 年 5 月 28 日現在

機関番号：17201

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K19046

研究課題名（和文）高不整合材料を用いた人工光合成技術の開拓

研究課題名（英文）Artificial photosynthesis technology using highly mismatched alloys

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） 4,900,000 円

研究成果の概要（和文）：太陽光と水を利用して水素を生成する人工光合成は、二酸化炭素など温室効果ガスを削減しながら、無尽蔵かつ貯蔵可能な次世代エネルギー創製技術として大きな期待が寄せられている。本研究では、従来の半導体混晶と異なりバンド反交差作用によるユニークなバンドエンジニアリングが可能な高不整合半導体材料ZnTe0に着目し、水素発生応用に適したエネルギーバンドを実現することで、これまでになかった新たな人工光合成システムを開拓することを目的とした。その結果、ZnTe0に対して水素発生に適したpnヘテロ接合構造を明らかにするとともに、水素発生を実証し、その発生量と反応時間の関係を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

低炭素社会の実現に向けて、莫大なエネルギーを有する太陽光と水を用いた水素発生は貯蔵可能なエネルギーの創出技術として注目を集めている。効率向上のためには太陽光に多く含まれる可視光を有効利用することが重要である。本研究では、従来の半導体混晶と異なりバンド反交差作用によるユニークなバンドエンジニアリングが可能な高不整合半導体材料ZnTe0に着目し、水素発生に適した特性が得られる構造、条件などについて検討を行った。本研究により初めて本材料で水素発生を実証することができ、また、種々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）：Artificial photosynthesis, which uses sunlight and water to generate hydrogen, is expected to be a next-generation energy creation technology that can be stored inexhaustibly while reducing greenhouse gases such as carbon dioxide. In this research, we focused on ZnTe0, a highly mismatched semiconductor alloy material that enables unique band engineering by band anti-crossing interaction, unlike conventional semiconductor alloys, and aimed to realize an energy band suitable for hydrogen generation, thereby opening up a new and unprecedented artificial photosynthesis system. As a result, the pn heterojunction structure suitable for hydrogen generation was clarified for ZnTe0. Also, hydrogen generation using ZnTe0 was demonstrated, and the relationship between the amount of hydrogen generated and the reaction time was clarified.

研究分野：半導体工学

キーワード：高不整合材料 人工光合成 マルチバンドギャップ半導体

1. 研究開始当初の背景

太陽光と水を利用して水素を生成する人工光合成は、将来の持続可能な社会の実現に向け、二酸化炭素など温室効果ガスを削減しながら、無尽蔵かつ貯蔵可能な次世代エネルギー創製技術として大きな期待が寄せられている。しかしながら、頻繁に使用されている酸化チタンや酸化タングステンなどの酸化物半導体の多くはバンドギャップが大きいことから、太陽光に5%程度しか含まれない紫外線によってのみ水素生成が可能となっているため、その変換効率は未だに低く実用レベルには至っていない。効率向上のためには、太陽光に含まれる可視光の吸収により、酸化還元反応を効率良く起こすことができる材料の開発が重要な課題の一つである。

高不整合材料とは、ホスト材料に対して電気陰性度や原子半径の大きく異なる元素をわずかに(~5%)導入した材料のことで、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_c)と上部バンド(CB, E_v)が形成される。この現象は、バンド反交差(BAC)モデルにより説明されている。

本研究で着目した高不整合材料は、p型伝導制御が容易で伝導帯が水の還元電位より負にあるZnTeO系材料である。ZnTeに酸素をわずかに添加すると、バンドギャップ中の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_c 、 E_v サブバンドが形成される。これらのサブバンドのエネルギーは添加した酸素濃度に依存して変化することから、価電子帯のエネルギー位置を変化することなく E_c -サブバンド下端のエネルギー位置を制御できる。ZnTeの場合、バンドギャップは約2.3eVと大きいため可視光の吸収は少ないが、酸素添加によるサブバンド形成によりバンドギャップを小さくすれば、太陽光の吸収範囲を拡大することが可能となり、還元反応の効率向上が期待できる。

このように高不整合材料では、一方のエネルギーバンドには影響を与えることなく、もう一方のエネルギーバンドを変化することが可能であり、理想的には、n型、p型半導体間のフェルミレベルの差を維持したままで、バンドエンジニアリングが可能となる。

2. 研究の目的

本研究では、従来の半導体混晶と異なりユニークなバンドエンジニアリングが可能となる高不整合材料(HMA: Highly mismatched alloy)に着目し、人工光合成応用に適したエネルギーバンドを実現することで、これまでにない新たな人工光合成システムを開拓することを目的とする。

申請者が保有する分子線エピタキシャル成長技術によって薄膜成長を行うことで、人工光合成応用に必要な基礎物性を明らかにした後、適した特性を有する材料を用いて、擬似太陽光照射下にて水分解反応特性の評価を試みる。

3. 研究の方法

ZnTeO 薄膜は、分子線エピタキシー(MBE)法により p-ZnTe(100)基板上に成長した。成長前の背圧は、 4×10^{-8} Pa 以下である。原料には、Zn(純度 7N)、Te(純度 6N)を用い、酸素は、高周波ラジカル銃を用いて、酸素ラジカルとして供給した。本研究では、ラジカル銃に供給する高周波(RF)電力を73~97Wの範囲で変化させることにより、ZnTeO 薄膜中の酸素濃度を変化させた。成長中の基板温度は400°Cとし、Te/Znフラックス比は2とした。

成長した薄膜は、高分解 X線回折により結晶性を、紫外・可視・赤外分光光度計により透過率・反射率の評価を行った。その後、光電気化学特性の評価を行うため、p-ZnTe 基板の裏面にオーミック電極としてPdを堆積した。光電気化学特性は、擬似太陽光(AM1.5G × 5Sun)をシャッターにより間欠的に照射しながら、ポテンショスタットを用いて測定を行った。対極にはPt、参照電極にはAg/AgClを用い、電解液としては0.2Mの硝酸ユーロピウム水溶液を用いた。

4. 研究成果

(1) 分子線エピタキシャル成長 ZnTeO の組成, 光学特性の評価

分子線エピタキシー法を用いて ZnTe(100)基板上に成長した ZnTeO 薄膜の組成, 光学特性を明らかにすることで、酸素濃度と ZnTeO のバンドギャップ, 光吸収特性の関係を明らかにした。酸素ラジカル銃の供給条件を変化させることにより、酸素濃度を0~1.5%程度の範囲まで変化できること、酸素濃度の増加により E_c -中間バンドおよび E_v -上部バンドのエネルギーバンドの位

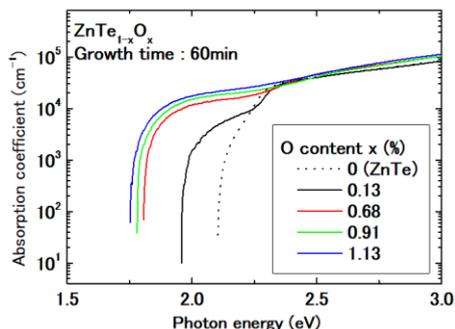


図1 作製した ZnTeO 薄膜の光吸収スペクトル特性

置が変化するとともに、価電子帯から E_c 中間バンドへの光吸収が増加することを明らかにした (図 1)。

(2) 単層膜の光電気化学特性の評価

(1) で作製した ZnTeO 薄膜に対して硝酸ユーロピウム水溶液を用いて光電気化学特性の評価を行った。比較のため、同様に堆積させた ZnTe 薄膜に対しても実験を行った。図 2 に測定結果を示す。酸素濃度の増加に伴って光電流密度が増加していることが分かる。図 1 に光吸収特性を示したように、酸素濃度の増加により価電子帯から E_c 中間バンドへの光吸収が増加することから、この吸収によって生じたキャリアが電流として取り出されていると考えられる。一方、ZnTe 薄膜では ZnTeO 薄膜に比べて大きな光電流が得られている。ZnTeO に比べて吸収端が高エネルギー側に位置する ZnTe の方が光電流が大きいことから、薄膜内での光生成キャリアの分離・輸送が ZnTeO では ZnTe に比べて低いものと考えられる。

(3) n 型半導体との組み合わせによる光電気化学特性の改善

(2) により ZnTeO 単層膜のみの場合、光電流密度が小さいことが明らかとなったため、n 型半導体を堆積し、pn 接合構造を形成することにより光生成キャリアの分離・収集効率の向上を試みた。n 型半導体としては n-ZnO, n-ZnS を使い、分子線エピタキシャル成長法により ZnTeO 薄膜に引き続いて同一チャンバー内で成長を行った。

まず、(2) で大きな光電流が得られた ZnTe に対して n-ZnO, n-ZnS を堆積し、光電気化学特性を評価した結果、図 3 に示すように ZnTe 単層膜の場合に比べて 100 倍以上の大きな光電流密度を得ることができた。これは pn 接合形成により内部電場が形成されたことによると考えられる。また、n-ZnO と n-ZnS を比較すると、n-ZnS の方が低電位から大きな光電流密度が得られていることが分かる。ZnTe に対する伝導帯オフセットは n-ZnS の方が n-ZnO よりも小さいことから、低電位においてもより大きな内部電場が形成されているものと推察される。

この結果に基づき、ZnTeO に対しても n-ZnS を用いて pn ヘテロ接合構造を作製した。図 4 に光電気化学特性の評価結果を示すように、ZnTeO の中間バンドに対するブロック層を設けた構造 n-ZnS/i-ZnTe/ZnTeO/p-ZnTe/Pd において、ブロック層を有しない構造 n-ZnS/ZnTeO/p-ZnTe/Pd や単層膜の場合に比べて大きな光電流密度を得ることができた。したがって、ZnTe の場合と同様に pn 接合形成による内部電場の効果が有効であることが分かった。本試料の外部量子効率 (EQE) スペクトルを図 5 に示す。EQE は中間バンドの光吸収に相当する約 1.6eV 付近から立ち上がっており、中間バンドを介した電流が生成されていることが分かる。しかしながら、現状では全電流に対するこの電流成分の割合は低いいため、今後さらなる改善が必要である。

この他、ZnTeO に用いる新たな n 型半導体として ZnCdO についても薄膜作製と評価を行い、Cd 組成と基礎物性の関係、ドーピングによる電気伝導制御につ

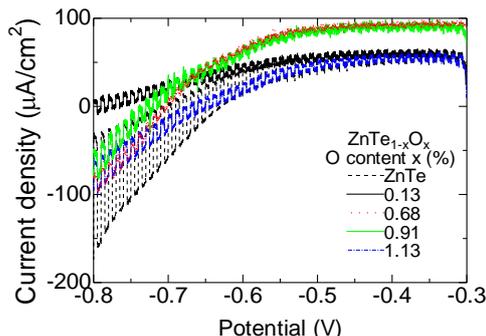


図 2 ZnTeO 薄膜の光電気化学特性

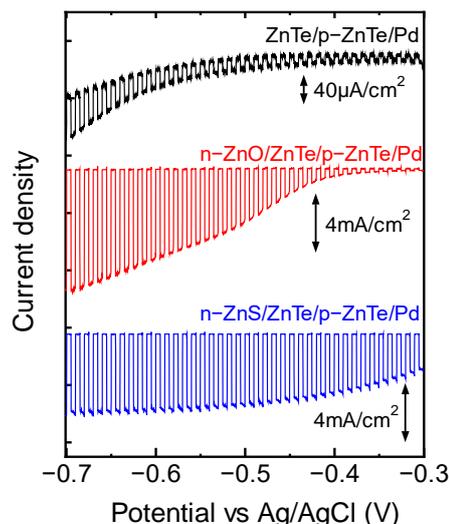


図 3 ZnTe 単層膜, n-ZnO, n-ZnS と pn ヘテロ接合を形成した ZnTe の光電気化学特性

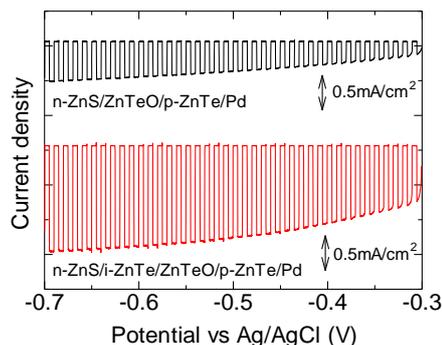


図 4 n-ZnO, n-ZnS と pn ヘテロ接合を形成した ZnTeO の光電気化学特性

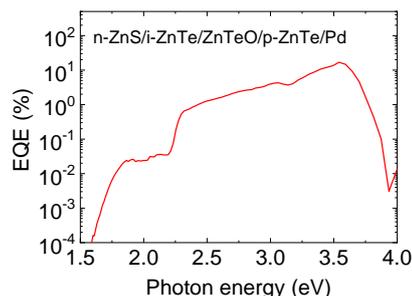


図 5 n-ZnS/i-ZnTe/ZnTeO/p-ZnTe/Pd の外部量子効率 (EQE) スペクトル

いて研究を進めてきた。また、対極の可能性として酸化銅(CuO, Cu₄O₃など)についても研究を行った。今後、ZnTeO に応用していくことを予定している。

(4) ZnTeO を用いた水素発生の実証実験

(3)で良好な光電気化学特性が得られた n-ZnS/i-ZnTe/ZnTeO/p-ZnTe/Pd 構造の試料に対して、300W キセノンランプ照射下にて水素発生の実証実験を行った。対極には Pt, 参照電極には Ag/AgCl を用い、電解液としてはリン酸緩衝液を用いた。図 6 に水素生成量と反応時間の関係を示す。時間経過とともに水素生成量が単調に増加しており、ZnTeO が水素生成光電極として機能していることを確認できた。

以上のように、中間バンドを有する高不整合材料 ZnTeO が水素発生光電極として活用できることを示すことができた。

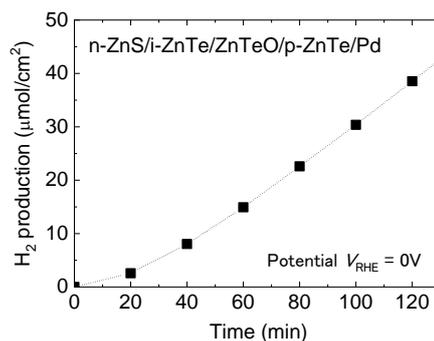


図 6 n-ZnS/i-ZnTe/ZnTeO/p-ZnTe/Pd の光照射下での水素生成量と反応時間の関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 6件/うちオープンアクセス 0件）

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(6 pages)
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 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 ZnTe _{1-x} O _x 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 Welna M., Janicki, Linhart W. M., Tanaka T., Yu K. M., Kudrawiec R., Walukiewicz W.	4. 巻 126
2. 論文標題 Effects of the host conduction band energy on the electronic band structure of ZnCdTeO 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 Cu403 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 Zn1-xCdx0 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29件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 11件)

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 吉永 智大, 齊藤 勝彦, 郭 其新, 池田 茂, 田中 徹
2. 発表標題 分子線エビタキシー法を用いた光触媒応用に向けたZnTe _{1-x} O _x 薄膜の作製と評価
3. 学会等名 2020年第81回応用物理学会秋季学術講演会, 2020年9月9日, オンライン, 9a-Z01-3.
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 Md Abdul Majed Patwary, Chun Yuen Ho, Katsuhiko Saito, Qixin Guo, Kin Man Yu, Wlodek Walukiewicz, Tooru Tanaka
2. 発表標題 IMPACT OF O ₂ FLOW ON PROPERTIES OF CU ₄₀₃ 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	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 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ドープ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 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 吉永 智大, 齊藤 勝彦, 郭 其新, 池田 茂, 田中 徹
2. 発表標題 分子線エビタキシー法によるZnOTe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23日, 23Cp-10.
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 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 吉永 智大, 齊藤 勝彦, 郭 其新, 池田 茂, 田中 徹
2. 発表標題 分子線エピタキシー法による光触媒応用を目指したZnO _{1-x} Te _x 薄膜の成長
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-D215-3
4. 発表年 2020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

1. 発表者名 K. Matsuo, Y. Watanabe, T. Tanaka, K. Saito, Y. Nose, Q. Guo, K. M. Yu, and W. Walukiewicz
2. 発表標題 Growth of P-doped ZnTe epilayers on ZnTe substrates by molecular beam epitaxy
3. 学会等名 20th International Conference on Molecular Beam Epitaxy, September 4, 2018, Shanghai, China, Tu-P-20. (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡辺 裕介, 松尾 健斗, 田中 徹, 齊藤 勝彦, 郭 其新
2. 発表標題 MBE 法により成長したCl ドープZnCdTe0 薄膜の特性評価
3. 学会等名 2018年第79回応用物理学会秋季学術講演会, 21p-431B-2, 名古屋国際会議場, 2018年9月21日.
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福山 耕平, 松尾 健斗, 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(100)基板上へのZnSe 薄膜成長
3. 学会等名 平成30年度応用物理学会九州支部学術講演会, 福岡大学, 平成30年12月8日, 8Ca-1
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松尾健斗, 渡辺裕介, 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によるP ドープZnTe 薄膜の成長と評価
3. 学会等名 平成30年度応用物理学会九州支部学術講演会, 福岡大学, 平成30年12月8日, 8Ca-2
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 HyoChang Jang, Kento Matsuo, Tooru Tanaka, Katsuhiko Saito and Qixin Guo
2. 発表標題 Characterization of Al-doped ZnCdO thin films on MgO substrates by molecular beam epitaxy
3. 学会等名 The 3rd Asian Applied Physics Conference (Asian-APC), 8 December, 2018, Fukuoka, 8Po-5. (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 HyoChang Jang, Kento Matsuo, Katsuhiko Saito, Qixin Guo, Tooru Tanaka
2. 発表標題 Growth of Al-doped ZnCdO thin films on MgO substrates by molecular beam epitaxy
3. 学会等名 2019年第66回応用物理学会春季学術講演会, 東京工業大学, 平成31年3月10日, 10a-W922-5
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡辺 裕介, 峯 拓郎, 松尾 健斗, 齊藤 勝彦, 郭 其新, 田中 徹
2. 発表標題 MBE によるCl ドープZnCdTeO 層の膜特性の組成依存性
3. 学会等名 2019年第66回応用物理学会春季学術講演会, 東京工業大学, 平成31年3月10日, 10a-W922-6
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三島 聖也, 松尾 健斗, 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MBE成長
3. 学会等名 2019年第66回応用物理学会春季学術講演会, 東京工業大学, 平成31年3月10日, 10a-W922-7
4. 発表年 2019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		