

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：13501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560007

研究課題名(和文)マルチバンドギャップ半導体のバンド構造制御と高効率太陽電池の作製

研究課題名(英文)Control of band structure of multiple band gap semiconductor and its application to high-efficiency solar cell

研究代表者

鍋谷 暢一(NABETANI, Yoichi)

山梨大学・医学工学総合研究部・准教授

研究者番号：30283196

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：再生エネルギーである太陽光はエネルギー問題が深刻である現在欠くことのできないものである。本研究では太陽電池の高効率化をめざし、中間バンドをもつ半導体を作製し、その物性を調べた。ZnTeに酸素(O)を添加した半導体では中間バンドが発生することがわかった。また半導体を太陽電池でとして利用するにはpn接合が必要である。ZnTeは自己補償効果のためにn型を作製するのが困難である。しかしAlを拡散させることによってn型化が可能であることがわかった。

研究成果の概要(英文)：Sun shine is one of the most important renewable energies. We have grown semiconductors which has an intermediate band gap to increase the efficiency of solar cell. We have investigated th at the ZnTeO alloy which consists of ZnTe and O has intermediate band. To utilize semiconductor as solar cell, pn junction is needed. However, it is difficult to make n-type ZnTe because of self-compensation. We have made n-type ZnTeO by Al-diffusion.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎、応用物性・結晶工学

キーワード：太陽電池

1. 研究開始当初の背景

太陽電池は燃料を必要とせず、太陽光を照射するだけで半永久的に利用できるため、身近な電力源としての役割は大きい。太陽電池の効率は、禁制帯幅で決まる起電力と、禁制帯幅よりも大きなエネルギーをもつ太陽光を吸収して生成されるキャリアによる電流の積で決定される。両者の間にはトレードオフの関係があり、禁制帯幅が大きい材料では吸収できる光子数が少ないため電流がとれず、逆に電流を多くするためには禁制帯幅を小さくする必要がある。しかし、電圧と電流のトレードオフを解決できる半導体は存在しない。これを解決するには複数種類のバンドギャップの太陽電池を積層したタンデム構造を用いられているが、作製コストが高く、一般的に普及しないという問題がある。

2. 研究の目的

本研究では、高い起電力を保ち、かつ太陽光を有効に吸収できる半導体太陽電池材料として、禁制帯中に中間バンドを有する半導体混晶の作製とその太陽電池への応用を目的としている。

3. 研究の方法

直接遷移型で 2.26eV の禁制帯幅をもつ ZnTe において、一部の Te サイトを O で置換した ZnTeO 混晶では、O の電気陰性度が Te に比べて大きいため、ZnTe 中の O 原子は等電子トラップとして伝導帯下端から約 0.25eV 低い状態に局在準位を形成する。O 組成を増加し、隣接する局在電子の波動関数をオーバーラップさせることによって、局在準位を中間バンドとして利用できる。O 組成を制御することによって、中間バンドのエネルギーを調節し、太陽電池として効率の良いバンド構造を形成する。具体的な研究方法は以下のとおりである。

- (1) マルチバンドギャップ半導体における多重バンド間遷移機構の解明とバンド構造の制御
- (2) ZnTeO 混晶の n 型化

4. 研究成果

- (1) マルチバンドギャップ半導体における多重バンド間遷移機構の解明とバンド構造の制御

Deep Level Transient

Spectroscopy(DLTS)によって ZnTeO 混晶の深い準位を調べた。その結果、ZnTeO 混晶では電子に対するトラップが伝導帯下端から約 2eV に発生していることがわかった。ZnTe についても同様に DLTS で調べたが、この準位は見られなかった(図1)。このことから、ZnTe に O を添加することによって電子トラップが形成

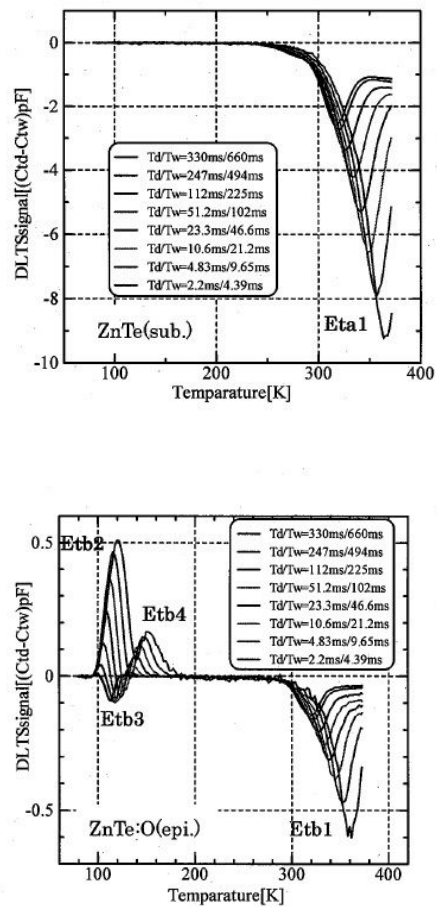


図1 DLTS スペクトル p 型 ZnTe (上)、p 型 ZnTeO (下)

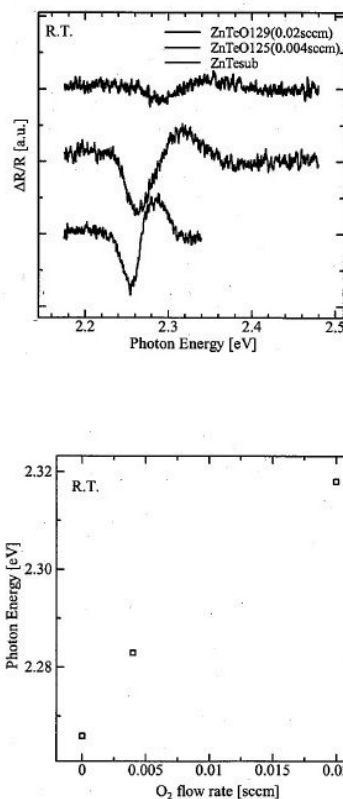


図2 ZnTeO の PR スペクトル(上) およびその O₂ 流量依存性(下)

しており、そのエネルギー準位は禁制帯中にあることがわかった。また Photoreflectance(PR)測定によって、ZnTeO のバンドギャップを調べた結果、O 組成が増加するにつれて、バンドギャップは増加することが分かった。この結果は、Band anti Crossing model で説明でき、このことから O 添加によって発生する電子トラップは禁制帯中に形成していることが説明できる。

(2) ZnTeO 混晶の n 型化

ZnTeO 混晶の母体である ZnTe は自己補償効果のために成長中にドナーをドーピングすることによって n 型化することは困難である。そこで、成長後、表面からドナーを熱拡散することによって n 型化できることが知られている。本研究でも同様に ZnTeO について、Al の熱拡散を行った。その結果、Al 拡散によって n 型化できることがわかった。しかし Al の拡散定数は ZnTe におけるそれよりも小さいことがわかった。これは、ZnTeO 中の O が Al を結合するためであると考えられる。

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1 件)

A. Teraoka, M. Watanabe, Y. Nabetani, and E. Kondoh, Room-temperature formation of a ZnO-based adhesion layer for nanoprecision Cu/Glass metallization, Japanese Journal of Applied Physics, 査読有, vol.50, 2013, 05FB0.

[学会発表](計 15 件)

坪谷直樹,日向淳一, 鍋谷暢一, 村中 司, 松本 俊, 光照射 DLTS 法による ZnTeO の局在準位評価、第 74 回応用物理学会学術講演会、2013 年 9 月 18 日、同志社大学

Naoki Tsuboya, Junichi Hinata, Yoichi Nabetani, Tsutomu Muranaka, and Takashi Matsumoto, Characterization of ZnTe and ZnTeO Alloy by DLTS, The 16th International Conference on II-VI Compounds and Related Materials, 2013/9/10, Nagahama

Junichi Hinata, Naoki Tsuboya, Yoichi Nabetani, Tsutomu Muranaka, and Takashi Matsumoto, Photocurrent Property of ZnTeO Layer, The 16th International Conference on II-VI Compounds and Related Materials, 2013/9/10, Nagahama

N. Tsuboya, J. Hinata, Y. Nabetani, T. Muranaka, and T. Matsumoto, Al diffusion into ZnTeO Alloy for n-type conductivity, 第 32 回電子材料シンポジウム, 2013 年 7 月 10 日

坪谷直樹,日向淳一, 鍋谷暢一, 村中 司, 松本 俊, 容量 DLTS 法による ZnTe および ZnTeO の物性評価、第 60 回応用物理学会春季学術講演会、2012 年 3 月 29 日、神奈川工科大学

日向淳一,坪谷直樹, 鍋谷暢一, 村中 司, 松本 俊, ZnTeO 成長層のフォトカレント測定、第 60 回応用物理学会春季学術講演会、2012 年 3 月 29 日、神奈川工科大学

矢崎寛貴、日向淳一、坪谷直樹、鍋谷暢一, 村中 司, 松本 俊, 分子線エピタキシー法による ZnTeO 混晶の成長と評価、応用物理学会 結晶工学分科会主催第 1 回結晶工学未来塾、2012 年 11 月 8 日、学習院大学

Y. Nabetani, D. Yoshinaga, T. Suzuki, H. Yazaki, A. Ujihara, T. Muranaka, and T. Matsumoto, Al diffusion into ZnTeO alloy for n-type conductivity, 7th International Conference on Molecular Beam Epitaxy, 2012/9/25, Nara

鈴木貴博、平松和也、三枝直樹、鍋谷暢一, 村中 司, 松本 俊, n-ZnO/p-ZnTeO ヘテロ接合のバンド不連続解析、応用物理学会 結晶工学分科会主催 2011 年・年末講演会、2011 年 12 月 15 日、学習院大学

吉永大祐、鍋谷暢一, 村中 司, 松本 俊, 局在準位を有する半導体 ZnTeO 混晶への Al ドーピング、応用物理学会 結晶工学分科会主催 2011 年・年末講演会、2011 年 12 月 15 日、学習院大学

[その他]
ホームページ

<http://www.ccn.yamanashi.ac.jp/~nabetani/>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

鍋谷 暢一 (NABETANI, Yoichi)
山梨大学・医学工学総合研究部・准教授
研究者番号：30283196

(2)研究分担者

松本 俊 (MATSUMOTO, Takashi)
山梨大学・名誉教授
研究者番号：00020503

村中 司 (MURANAKA, Tsutomu)
山梨大学・医学工学総合研究部・准教授
研究者番号：20374788