

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 27 日現在

機関番号：13501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K04662

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・大学院総合研究部・教授

研究者番号：30283196

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：再生可能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ができない。本研究では太陽電池の高効率化を目的とし、中間バンドをもつ半導体を作製することおよびその物性評価を行った。ZnTeに酸素を添加した半導体では中間バンドが形成される。その高効率化のためには酸素組成の最適化が必要である。理論的には酸素組成が2%と計算されているのに対し、これまでに作製可能であった酸素組成は1%であった。酸素組成を増加させるために硫黄(S)を添加した。

研究成果の概要(英文)：The renewable energy solar shell is indispensable now that the energy problem is serious. In this research, for the purpose of improving the efficiency of solar cells, we fabricated semiconductors with intermediate bands and evaluated their properties. In the semiconductor to which oxygen is added to ZnTe, an intermediate band is formed. Optimization of oxygen composition is necessary to achieve high efficiency. In theory, the oxygen composition was calculated to be 2%, whereas the oxygen composition that could be produced so far was 1%. Sulfur (S) was added to increase the oxygen composition.

研究分野：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。これまでに作製できた ZnTeO 混晶の O 組成は 1% までであった。しかし中間バンドを利用した太陽電池を ZnTeO 混晶で作製する場合にはその O 組成は 2% が最も効率が高いと計算されている。O 組成を増加できない理由は ZnTe と ZnO の非混和性である。ZnTe と ZnO は格子定数が 25% 異なりさらに結晶構造も異なる。そこで本研究では両者の間の格子定数および結晶構造をもつ ZnS を形成するために分子線エピタキシー法(MBE)で ZnSTe 混晶を作製した。MBE は超高真空中で原子または分子を供給するために蒸気圧が高い原料を利用することができない。S は非常に蒸気圧が高いため、この研究では ZnS の固体を原料に用いた。

4. 研究成果

ZnSTe 混晶混晶の成長では、エピタキシャル成長を行った ZnSTe 混晶の膜厚測定結果及び、XRD 測定結果より ZnS 温度の高い試料ほど膜厚が厚くなり 2θ/ω 測定における角

度が高角度側に移動しているという結果が得られた。この結果より ZnS 原料の温度が高いほど ZnS 原料の供給量が増え、それにより膜厚が厚くなり、S 組成が増え、格子間隔が狭くなっていることが分かった。

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 3 件)

M. Bodiul, Islam, Y. Nabetani, and E. Torikai, Facile Preparation of High Quality p-Type Cu₂O for Thin Film Solar Cells, International Journal of Computer Science and Electronics Engineering, 査読有, vol.4, 2016, 25-30.

M. Welna, M. Baranowski, R. Kudrawiec, Y. Nabetani, and W. Walukiewicz, Effects of band anticrossing on the temperature dependence of the band gap of ZnSe_{1-x}O_x alloys, Semiconductor Science and Technology, 査読有, vol.32, 2016, 015005, doi:10.1088/issn.0268-1242.

M. Welna, R. Kudrawiec, Y. Nabetani, T. Tanaka, M. Jaquez, O.D. Dubon, K.M. Yu, and W. Walukiewicz, Effects of a semiconductor matrix on the band anticrossing in dilute group II-VI oxides, Semiconductor Science and Technology, 査読有, vol.30, 2015, 085018, doi:10.1088/issn.0268-1242.

[学会発表](計 13 件)

米山嵩人, 神田将平, 谷中峻大, 鍋谷暢二, 村中司, ZnSTeO 混晶のエピタキシャル成長及び構造評価, 応用物理学会 結晶工学分科会主催第 6 回年結晶工学未来塾、2017 年 11 月 2 日、東京大学 駒場キャンパス先端科学技術研究センター 3 号館南棟 ENEOS ホール

杉山元気, 張振宇, 辺見稀城, 鍋谷暢一, 村中司, Al 熱拡散による n 型 ZnTe の作製と評価, 応用物理学会 結晶工学分科会主催第 6 回年結晶工学未来塾、2017 年 11 月 2 日、東京大学 駒場キャンパス先端科学技術研究センター 3 号館南棟 ENEOS ホール

深井健太, 鍋谷暢一, 村中司, 松本俊, プラズマドーピング法を用いた p 型 SiC の作製装置の立ち上げ, 応用物理学会 結

晶工学分科会主催第 6 回年結晶工学未来塾、2017 年 11 月 2 日、東京大学 駒場キャンパス先端科学技術研究センター 3 号館南棟 ENEOS ホール

神田将平, 村中司, 鍋谷暢一, ZnTeO 混晶のエピタキシャル成長および構造評価, 応用物理学会 結晶工学分科会主催第 5 回年結晶工学未来塾、2016 年 11 月 7 日、東京農工大学

張振宇, 村中司, 鍋谷暢一, ZnTeO 混晶のエピタキシャル成長および構造評価, 応用物理学会 結晶工学分科会主催第 5 回年結晶工学未来塾、2016 年 11 月 7 日、東京農工大学

小野田翔太, 村中司, 鍋谷暢一, 中間バンド型太陽電池に向けた ZnO/ZnTeO ヘテロ接合の作製, 応用物理学会 結晶工学分科会主催第 5 回年結晶工学未来塾、2016 年 11 月 7 日、東京農工大学

M. Bodiul Islam and Yoichi Nabetani, Strain Energy Calculations of ZnTe_{1-x}O_x Crystal Using VFF Model for Intermediate Band Solar Cell, 20th International Conference on Ternary and Multinary Compounds, 2016/9/6, Hale.

岡島康介, 村中司, 鍋谷暢一, 松本俊, 平木哲, 大面積 PC 基板上に形成した GZO 透明導電膜の構造および特性評価, 応用物理学会 結晶工学分科会主催第 4 回年結晶工学未来塾、2015 年 10 月 29 日、東京農工大学

若林岳, 池内達紀, 佐々木涼介, 村中司, 鍋谷暢一, 松本俊, アニール処理した ZnO-TFT の電流 DLTS 評価, 応用物理学会 結晶工学分科会主催第 4 回年結晶工学未来塾、2015 年 10 月 29 日、東京農工大学

鎌矢祐紀, 張振宇, 鍋谷暢一, 村中司, ZnTe の n 型層および電極の作製と電気的特性の評価, 応用物理学会 結晶工学分科会主催第 4 回年結晶工学未来塾、2015 年 10 月 29 日、東京農工大学

笠井遼太郎, 大石将平, 鍋谷暢一, 村中司, ZnTeO 太陽電池に向けた ZnO/ZnTe ヘテロ接合の作製, 応用物理学会 結晶工学分科会主催第 4 回年結晶工学未来塾、2015 年 10 月 29 日、東京農工大学

坂本宏貴, 神田将平, 鍋谷暢一, 村中司,

ZnTeO 混晶のエピタキシャル成長と構造および光学特性評価, 応用物理学会 結晶工学分科会主催第 4 回年結晶工学未来塾、2015 年 10 月 29 日、東京農工大学

M. Baranowski, M. Welna, R. Kudrawiec, M. Latkowska, Y. Nabetani, J. Misiewicz, and W. Walukiewicz, Hopping exciton model of photoluminescence in ZnSeO alloy, The 17th International Conference on II-VI Compounds and Related Materials, 2015/9/17, Paris.

T. Muranaka, Y. Oyaizu, K. Takasho, S. Nakajima, K. Okajima, K. Nakashima, Y. Nabetani, T. Matsumoto, S. Iwamoto, S. Hiraki, H. Kono, and S. Hagihara, Structural, Electrical and Optical Properties of Ga-Doped ZnO Films Grown on Flexible Substrates by Using Plasma-assisted Molecular Beam Deposition, The 17th International Conference on II-VI Compounds and Related Materials, 2015/9/14, Paris.

S. Sano, T. Horii, Y. Oyaizu, T. Muranaka, Y. Nabetani, T. Matsumoto, S. Hiraki, S. Miyazawa, A. Fukasawa and S. Sakamoto, Optical Characterization of ZnO Transparent Conducting Films Prepared at Low Temperatures, 19th International Conference on Ternary and Multinary Compounds, 2015/5/14, 朱鷺メッセ.

久保田優人, 若林岳, 小柳津祥典, 森雄大, 村中司, 鍋谷暢一, 松本俊, ZnO TFT のドレイン電流 DLTS 測定 (3), 第 61 回応用物理学会春季学術講演会、2015 年 5 月 14 日、青山学院大学相模原相模原キャンパス

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鍋谷暢一 (NABETANI Yoichi)
山梨大学・大学院総合研究部・教授
研究者番号: 30283196

(2) 研究分担者

松本俊 (MATSUMOTO Takashi)
山梨大学・大学院総合研究部・教授
研究者番号: 00020503

村中司 (MURANAKA Tsutomu)
山梨大学・大学院総合研究部・准教授
研究者番号：20374788

(3)連携研究者

研究者番号：

(4)研究協力者