

博士論文審査の結果の要旨

氏名	ELYAS ASHENAFI ABADI
学位名	博士（工学）
学位番号	甲 第 774 号
論文題目	Study of Sb doped SnS thin film and its heterojunctions (Sb 添加 SnS 薄膜及びそのヘテロ接合に関する研究)
論文審査委員	主査 Sai Myo Than Htay 橋本佳男 太子敏則 Shaibal Mukherjee (Indian Institute of Technology, Indore)

(博士論文審査の結果の要旨)

自然環境に調和し、持続性を持つ次世代エネルギー源として、太陽光発電技術が大いに注目されているなか、主に資源制約を受けない材料のみで構成される薄膜太陽電池の普及に期待が高まっている。Elyas Ashenafi Abadi 氏の論文は次世代薄膜太陽電池の光吸収材料として期待されている SnS 薄膜の作製方法、物性制御法、及びそのヘテロ接合の特性について詳細に調べたものであり、実際の応用上に有用な知見が示されている。

SnS は低毒性であり、資源制約が低く、光吸収特性も優れているが、 Sn_2S_3 、 SnS_2 など異なる組成を持つ多彩な結晶形態が存在するため、良好な単相の直方晶系 SnS を作製することが困難とされている。また、結晶中に Sn の点欠陥として自然に存在しやすいことから、p 型伝導性を示し、n 型伝導性への変換が難しく、高効率の特性が期待されるホモ接合型太陽電池の実現に大きな課題として残されている。これまでに、異種半導体材料間の接合を用いたヘテロ接合型薄膜太陽電池の検討もされてきたが、異種半導体材料の接合間に存在する結晶性の不整合、バンド構造の不連続性などが明らかになっていない点が多く、高効率特性の実現には大きな改善が求められている。

Elyas Ashenafi Abadi 氏の研究により、直方晶系結晶単相を持つ SnS 薄膜の作製条件が明らかにされ、適切な事後熱処理が SnS_2 などの不純物相の除去に効果的であることが示されている。1 気圧の硫黄雰囲気下、 250°C で硫化した試料に 400°C で真空中に 2 時間程度加熱処理を施したことにより、 $1.6 \mu\text{m}$ 程度の平均結晶粒径を持つ単相 SnS 薄膜が得られる結果を示し、単相の作製条件を見出している。薄膜太陽電池の光吸収膜として必要な厚さである $1 \mu\text{m}$ よりも大きな結晶粒径を実現しており、今後のデバイス特性の発展につながる成果として期待される。単相 SnS 薄膜に Sb を添加する実験では、添加量とキャリア濃度の関連性を明らかにしており、単相 SnS に 0.63% の Sb を添加した試料ではキャリア濃度が $1.8 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 、移動度が $13.65 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ が得られ、n 型伝導性が得られなかったものの、Sb を添加することにより、n 型伝導性に変換できる可能性が示唆された。次に TiO_2 及び CdS とのヘテロ接合界面の性質についても詳細に調べられており、SnS の表面処理条件がそれぞれとのヘテロ接合界面のバンド構造に及ぼす影響を定量的に解析した結果が示されている。加熱処理なしの SnS の場合、CdS との伝導帯端の不連続が 0.3 eV のスパイク型であったのに対し、 250°C で事後酸化加熱処理を施した試料では -0.65 eV のクリフ型に変化し、接合にする前の SnS 薄膜の表面処理状態に依存して、接合界面における伝導帯端間の不連続状態がスパイク型とクリフ型の両方に調整できることが示されている。本成果は、ヘテロ接合を用いた薄膜太陽電池の最適なバンド構造を得るのに重要な手がかりであり、今後の SnS を用いた高効率薄膜太陽電池の実現につながる可能性がある。

本研究では、主に、単相 SnS 薄膜の作製条件を見出したこと、Sb 添加によりキャリア濃度の制御が可能であること、SnS とのヘテロ界面におけるバンド構造を SnS 薄膜の表面性質を調整して制御可能なことが具体的に示されている。これらの成果は、環境調和型材料である SnS を用いたヘテロ接合型薄膜太陽電池の高効率化の実現につながる重要な知見であり、工学的及び学術的価値が高いものとして判断できる。

以上により、本論文は本学の博士論文の水準を満たしており、博士（工学）の学位論文として十分価値があるものと審査委員全員一致で判断した。

(公表主要論文名)

1. Ashenafi Abadi, Myo Than Htay, Yoshio Hashimoto, Kentaro Ito, Noritaka Momose, Annealing effect of absorber layer on SnS/CdS heterojunction band alignments,

Japanese Journal of Applied Physics, 61, SB1042 (2022). (8 pages)

<https://doi.org/10.35848/1347-4065/ac3a8f>

2. Ashenafi Abadi, Myo Than Htay, Yoshio Hashimoto, Kentaro Ito, Noritaka Momose, Effect of Sb doping in pure phase SnS thin films, Japanese Journal of Applied Physics, 59, SCCB11 (2020). (7 pages) <https://doi.org/10.7567/1347-4065/ab4a8d>