

# 論文審査の結果の要旨

氏名 田 日

近年、クリーンで持続可能な自然エネルギーへの期待が社会でますます高まっており、太陽電池の研究開発も活発になっている。シリコン系太陽電池はすでに実用化されているが重量があり、コスト面での問題が解決されているわけではない。有機太陽電池や最近開発された有機・無機ペロブスカイト太陽電池は低コストでの製造が期待され、かつ軽く、フレキシブルであるという特長をもっている。本論文では、電荷を選択的に捕集して輸送する層や界面の研究を通し、エネルギー変換効率が高く、フレキシブルで作製の容易な新規太陽電池の開発について述べられている。

本研究は以下の14章より構成されている。

第1章は序論であり、本論文の背景および目的が述べられている。この章では、有機太陽電池とペロブスカイト太陽電池の歴史と原理について説明している。各層やその界面の役割についても議論している。

第2章では、本論文で用いられた実験手法について述べられている。太陽電池の作製方法や、デバイスの評価方法、材料物性の評価方法などが記述されている。

第3章と第4章では、希少元素であるインジウムを含む酸化インジウムスズに代わり、地球上に普遍に存在する元素である炭素で構成され、かつ機械的にも強い単層カーボンナノチューブ薄膜を透明電極として用いた有機太陽電池の開発について述べられている。酸化モリブデンによるホールドープが有効であること、カーボンナノチューブ薄膜がホールを選択的に捕集して輸送する透明電極となること、6%以上の高いエネルギー変換効率を示すこと、およびフレキシブル基板にも適用できることなどが議論されている。

第5章では、単層カーボンナノチューブ薄膜の代わりに二層カーボンナノチューブ薄膜を用いた有機薄膜太陽電池について述べられている。本系に対しては、酸化モリブデンよりも硝酸の方がドーパントとして効果的であることを明らかにしている。上記の結果は、外側のカーボンナノチューブは硝酸による酸化で欠陥が生じるが、内側のカーボンナノチューブには欠陥が生じないためと結論している。

第6章では、有機薄膜太陽電池の透明電極側ではなく、裏面の金属電極を単層カーボンナノチューブ薄膜透明電極に置き換えた研究について述べられている。二枚の透明電極に挟まれた有機太陽電池は窓のように透光性のある太陽電池となり、太陽電池の新しい用途に繋がると提唱している。また、有機薄膜のない状態でカーボンナノチューブにホールドープするために開発された新しい手法についても議論している。

第7章では、2%ニオブをドーパした酸化チタン透明導電膜の、有機薄膜太陽電池への応用について述べられている。ニオブドーパ酸化チタン薄膜の表面をUV-オゾン処理により酸化することで、表面はホールブロック機能をもつ半導体となり、電子を選択的に捕集して輸送する透明電極となることを明らかにしている。

第8章では、2-アミノエタノールを保護剤および溶媒とする酸化亜鉛ナノ粒子の合成と、有機薄膜太陽電池の電子輸送層への応用について述べられている。この方法で作製された酸化亜鉛ナノ粒子は粒径が数 nm と揃っていること、スピコート法により成膜した後は加熱が不要であることが特徴として挙げられている。

第9章では、酸化亜鉛のスパッタ成膜についても検討し、従来の溶液法より高い変換効率が得られることが述べられている。高いスパッタ圧での成膜により酸化亜鉛の結晶化が促進され、有機薄膜太陽電池の電子輸送層として適していることが示されている。

第10章と第11章では、ホールブロック機能をもつフラレンカテコール誘導体やアントラセン誘導体を用いた、酸化チタンや酸化亜鉛電子輸送層の表面修飾について述べられている。電荷を帯びた末端が酸化物に付着し、反対側の末端であるフラレンやアントラセンが有機発電層中のフラレン誘導体電子アクセプターから効率良く電子を抽出することを明らかにしている。

第12章では、二硫化モリブデンナノフレークを有機薄膜太陽電池の電子アクセプターとして用いた研究について述べられている。ポリチオフェン電子ドナーと二硫化モリブデンのバルクヘテロ接合を構築するために多層カーボンナノチューブを用いることが有効であると結論されている。

第13章では、有機発電層と無機電荷選択層の界面の接触を最適化する研究について述べられている。有機発電層溶液を無機酸化物に滴下してしばらく時間をおくと、有機ドナーと有機アクセプターの垂直方向の濃度勾配が最適化されて変換効率が向上し、UV 活性化時間を短縮できることを見いだしている。

第14章は本論文とまとめと今後の展望である。

以上のように、本論文では、エネルギー変換効率が高く、フレキシブルで、安定な有機・無機ハイブリッド太陽電池を実現するために不可欠である、層界面における電荷の選択的捕集やその高効率化のメカニズムを明らかにしている。これらは、材料科学の研究分野の深化と有機太陽電池の実用化研究に大きく寄与する研究成果であり、博士（理学）に値する。なお本論文は複数の研究者との共同研究であるが、論文提出者が主体となって行ったものであり、論文提出者の寄与は十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。