

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	太陽電池応用に向けた錫ペロブスカイト薄膜のキャリア挙動解析
Title(English)	Modeling and analysis of carrier behaviors in Sn perovskite thin films for solar cell application
著者(和文)	野間大史
Author(English)	Taishi Noma
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11132号, 授与年月日:2019年3月26日, 学位の種類:課程博士, 審査員:間中 孝彰,中川 茂樹,山田 明,宮島 晋介,飯野 裕明,岩本 光正,白井 博明
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11132号, Conferred date:2019/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名	野間 大史	
		氏名	職名		氏名	職名
論文審査 審査員	主査	間中 孝彰	教授	審査員	飯野 裕明	准教授
	審査員	中川 茂樹	教授		岩本 光正	特任教授
		山田 明	教授		臼井 博明	東京農工大 教授
		宮島 晋介	准教授			

## 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Modeling and analysis of carrier behaviors in Sn perovskite thin films for solar cell application (太陽電池応用に向けた錫ペロブスカイト薄膜のキャリア挙動解析)」と題し、英文 6 章よりなっている。

第 1 章「Overview」では、次世代の太陽電池として注目されているペロブスカイト太陽電池の現状について概観し、実用化に向けた課題の 1 つに挙げられる鉛の使用と、その代替材料の必要性について述べている。現在、鉛ペロブスカイトの代替材料として錫ペロブスカイトが盛んに研究されているが、低い変換効率が課題となっており、この課題を克服するためには、キャリア挙動の評価をはじめとする基礎的な研究が重要であると述べている。その上で、従来の電気的手法に加え、光学的手法である電荷変調分光 (CMS) 法や電界誘起光第 2 次高調波発生 (EFISHG) 法を用いて錫ペロブスカイトのキャリア挙動を直接的に評価し、解析およびモデル化することが本研究の目的であると述べている。

第 2 章「Experimental methods and theoretical models」では、本研究で用いている測定手法の原理と方法についてまとめている。はじめに、変位電流測定やインピーダンス分光法などの電気的測定法について説明し、等価回路を用いた実験結果の理論モデルを提案している。続いて、光学的測定法である CMS 法および EFISHG 法についてまとめている。有機半導体と絶縁体の 2 層構造素子に対して EFISHG 法を適用し、EFISHG 法によって見積もられる電界を用いて変位電流測定の結果を解析することで、より正確なキャリア移動度の評価が可能になると述べている。

第 3 章「Carrier behaviors in Sn perovskite single layer devices」では、錫ペロブスカイト単層構造サンプルのキャリア挙動について述べている。MASnI<sub>3</sub> 単層サンプルの I-V 特性から、錫ペロブスカイトが絶縁体的であり、印加電圧を上げることでトラップフィリングが起きることを示している。CMS 測定では、錫の欠陥で生じるトラップが I-V ヒステリシスの原因であることをエネルギー的に明確化している。一方、錫ペロブスカイト材料の EFISHG 特性を検討し、メチルアンモニウムイオンを含む化合物では信号が確認できなかったが、ホルムアミジニウムイオンを含む化合物において、電界による SHG 信号の変調を確認できたことと述べている。この EFISHG 測定の結果に基づいて材料中の電界強度を見積もり、FASnI<sub>3</sub> のイオン移動度を議論している。

第 4 章「Carrier behaviors in Sn perovskite solar cells」では、錫ペロブスカイト太陽電池のキャリア挙動について述べている。CMS 測定からは C<sub>60</sub> から MASnI<sub>3</sub> への電子注入をエネルギー的に明確化することに成功し、EFISHG 測定ではトラップによる空間電荷電界が C<sub>60</sub> 層内に形成されていることを明らかにしている。これらの測定から、錫ペロブスカイト太陽電池のヒステリシス特性が錫ペロブスカイトのトラップにより現れると結論づけている。

第 5 章「Pb-based perovskite solar cells」では、EFISHG 測定を用いて、高効率な鉛ペロブスカイト太陽電池を評価している。2D/3D 構造を有する高効率鉛ペロブスカイト太陽電池の安定性について評価を行い、劣化に伴って EFISHG の信号強度が減少することを明らかにしている。これにより、これまで電界測定を目的として用いられてきた EFISHG 法が、素子劣化の新しい評価法としても利用できる可能性を示している。

第 6 章「General conclusions and prospects」では、本研究を総括するとともに、太陽電池以外で期待されるペロブスカイト材料のデバイス応用や、ここで提案している各種光学的デバイス評価法の可能性について考察している。

以上を要するに、本論文は光学的手法と電気的手法を組み合わせることで錫ペロブスカイト材料におけるキャリア挙動を解析およびモデル化することで、錫ペロブスカイト薄膜で観測される I-V ヒステリシスの原因や、太陽電池構造における電荷注入・界面蓄積電荷を明確化し、今後の錫ペロブスカイト太陽電池の性能向上に資する知見となるもので、工学上、工業上貢献するところが大きい。よって本論文が博士 (工学) の学位論文として十分価値があるものと認める。