

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	先進インピーダンス分光解析によるp-nヘテロ接合型有機薄膜太陽電池のキャリア挙動に関する研究
Title(English)	Study on Carrier Dynamics of p-n Heterojunction Organic Photovoltaic Cells by Advanced Impedance Analysis
著者(和文)	前田 竜志
Author(English)	Ryoji Maeda
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9828号, 授与年月日:2015年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:吉田 郵司,小田原 修,細田 秀樹,吉本 護,舟窪 浩,和田 裕之
Citation(English)	Degree:, Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9828号, Conferred date:2015/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻：	物質科学創造	専攻
Department of		
学生氏名：	前田 竜志	
Student's Name		

申請学位 (専攻分野)：	博士 (工学)
Academic Degree Requested	Doctor of
指導教員 (主)：	吉田 郵司
Academic Advisor(main)	
指導教員 (副)：	細田 秀樹
Academic Advisor(sub)	

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

将来的なエネルギー資源供給の不安や、原子力発電による事故への懸念から再生可能エネルギーの普及が大きな課題となっている。とりわけ、太陽電池は半永久的に利用できる太陽光を利用することから、導入の期待は高い。その中の 1 つとして位置づけられる有機薄膜太陽電池は、従来のシリコンのような無機半導体をベースとした太陽電池とは異なり有機半導体を用いることから、低温プロセスで製造が可能である。これにより、太陽電池市場において低コスト化の実現が期待され、フレキシブル性を帯びることから、場所を選ばず様々な用途への応用が可能である。従って、再生可能エネルギーの普及課題に対して、大きな進歩の可能性を与える。しかし、太陽電池としての性能や耐久性の脆弱さにより、実用化に至っていない技術の 1 つとなっている。

本研究で対象とするのは、現在の有機薄膜太陽電池の開発および高性能化に必要な不可欠な発電の素過程に着目した評価解析手法の確立であり、得られた知見は高性能化の手段としてフィードバックされることが期待される。有機薄膜太陽電池の発電は、原理的に発電を担うドナーとアクセプタの界面の制御やキャリア輸送の移動度の向上により、高い光電流を発現する可能性を持つ。しかしながら、有機半導体特有の界面におけるキャリア蓄積挙動や、太陽電池が実際に駆動している外部からの印加電圧が小さな領域における有機半導体中のキャリア移動度評価法など、発電の素過程に着目した評価解析は未だにほとんど着手されている例がなかった。そこで本研究では、この問題点を指摘し、インピーダンス分光法による容量成分の観点から解析するアプローチを検証した。本研究の特色は、有機半導体が元来、自由キャリアを持たない絶縁体であることに着目してインピーダンス解析に用いる各種伝達関数のうち容量成分変化の考察に適したモジュラスプロットを有機薄膜太陽電池の解析に適用しながら、この問題に取り組んでいる点にある。下記に本研究で得られた成果の概要を示す。

(1) 容量成分は、p-n ヘテロ接合型有機薄膜太陽電池を構成する有機半導体各薄膜層の膜厚値と相關するため、p 型および n 型の各有機半導体層の同定が可能となった。外部印加電圧や有機半導体層の膜厚を変化させ、そのモジュラスプロットによる解析を行うことで、p 型および n 型の各有機半導体から構成される薄膜層の界面においてエネルギー変換効率の低下要因となるキャリアの蓄積を誘発する内部電界の存在を明らかにした。また、新規の p 型有機半導体材料を開発し、本解析手法から内部電界の減少が素子特性の向上につながったことを明らかにした。

(2) p-n ヘテロ接合型有機薄膜太陽電池の各層内に光照射により誘起されたキャリアの光伝導度の直接測定に成功した。光照射強度を変えて測定した周波数特性の解析より、2 つの緩和時間が異なる導電性が変化する成分が分離して確認され、それぞれ各薄膜層内に光照射により誘起されたキャリア由来の光伝導度変化であることを同定した。また、実際の有機薄膜太陽電池素子を用いて、光伝導度およびキャリア移動度の算出が可能であることを実験的に明らかにした。

以上のように、インピーダンス分光法のうち容量成分によるモジュラスプロット解析を適用して、p-n ヘテロ接合型有機薄膜太陽電池のキャリア挙動解析に取り組んだ研究は世界的に見ても例は少ない。本研究成果並びに薄膜界面の制御により、より詳細に有機半導体特性の解明が飛躍的に進むことが期待される。また、有機半導体の持つポテンシャルを最大限に引き出した有機薄膜太陽電池の実現により、エネルギーの課題に大きく貢献しうる可能性を秘めている。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻：	物質科学創造	専攻
Department of		
学生氏名：	前田 竜志	
Student's Name		

申請学位(専攻分野)：	博士	(工学)
Academic Degree Requested	Doctor of	
指導教員(主)：	吉田 郵司	
Academic Advisor(main)		
指導教員(副)：	細田 秀樹	
Academic Advisor(sub)		

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

Organic photovoltaic cells (OPVs) as a renewable energy source have attracted much attention due to their ease of manufacture, low cost, flexibility and so on. In 1986, Tang fabricated a bilayer heterojunction solar cell with an efficiency approaching 1%, which was a milestone in the development of organic photovoltaic (OPV) cells. Since the innovation of Tang's layered thin film structure, which separates specific functionalities to discrete layers, OPV cells have experienced dramatic improvement. In recent years, the power conversion efficiency and the durability of the OPV cells have rapidly improved thanks to the efforts of many researchers. However, the carrier dynamics in the OPV cells are still not fully understood because of the complexity of the interactions between each organic layer. To improve device performance, carrier transport analysis of organic hetero-structured devices is quite important. Carrier behavior in OPV cells, such as charge separation and recombination, is governed by the interaction of donor-acceptor interfaces because organic materials have very few carriers. Therefore, understanding carrier behavior at the donor-acceptor interface is necessary to further improve OPV cells. Standard current-voltage (J-V) measurements only give general information carrier transport. To obtain deeper physical insight about carrier transport, information about the layer-to-layer carrier dynamics in each layer is needed. Impedance spectroscopy (IS) is a well-known and fundamental technique to investigate the electric response of structured devices composed of multi circuit elements. In this study, the basic carrier dynamics in p-n hetero-structured OPV cells were investigated by impedance spectroscopy. We introduced a novel representation of impedance spectrum dynamic modulus plot (DMP), which allowed us to graphically observe the layer-to-layer carrier injection and carrier accumulation behavior. Firstly, the diode characteristics of the OPV cells were discussed based on analyzing the charge carrier behavior by means of DMP analysis in the dark condition. We revealed the existence of an internal electric field which disturbs the carrier transport to the electrodes at the donor-acceptor interface, which governs the OPV cell performance under the illumination. It is thought that this internal electric field is the reason for the reduction of the FF of OPV cells. Secondly, under the light irradiation, we have succeeded in-situ measurement of photo-conductivity of each layer in the p-n hetero-structured OPV cells by using IS methods. The carriers were generated at the donor-acceptor interface by the dissociation process of excitons. Therefore, the same amount of holes and electrons were generated into each layer of OPV cells. Photo conductivity dependence within each layer on light intensity was investigated. The mobility ratio can be evaluated from the ratio of the conductivity shifts each of which corresponds to a layer of the cell. The mobility ratio corresponds well the already reported values. Further investigation of this phenomenon to reduce the internal electric field will potentially lead to higher-efficiency organic hetero-structured solar cells. Moreover, IS methods are a useful technique to elucidate the layer-to-layer carrier dynamics in OPV cells.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).