

氏名	落合 貴大
学位の種類	博士 ( 工学 )
学位記番号	博 甲 第 7659 号
学位授与年月日	平成 28 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	数理物質科学研究科
学位論文題目	

有機薄膜太陽電池の顕微的評価法開発と応用

主査	筑波大学教授	工学博士	重川秀実
副査	筑波大学教授	理学博士	秋本 克洋
副査	筑波大学教授	博士(工学)	末益 崇
副査	豊田工業大学教授	工学博士	吉村雅満

論 文 の 要 旨

太陽光をエネルギー源として発電を行う太陽電池は、再生可能エネルギーで地球上のあらゆる場所で発電が行える発電方法として注目を集めている。現在世に流通している太陽電池は Si や GaAs 等無機材料の結晶を用いたものが主流であり変換効率も高いが、価格が高くまた剛性の高さから家屋での設置場所が限られることが問題とされることがある。そのため近年非結晶な材料を用いた太陽電池の開発が進められており、その一種である有機薄膜太陽電池、とりわけ高分子を用いる有機薄膜太陽電池は、基板上に試料を塗布すると分子の自己作用によって太陽電池構造がひとりでに形成されるという特徴から、材料の安さ、製造過程の容易さ、また軽量かつ柔軟な基板上に作成可能であるためデザイン面でも設置場所を選ぶことがないという点に期待が集められ、研究が盛んに行われている。

高分子を用いる有機薄膜太陽電池では、 $p$ - $n$  接合界面の面積を最大化するためにバルクヘテロ接合 (BHJ) 構造と呼ばれる、 $p$ 、 $n$  両方の有機半導体分子が 3 次的に入り交じる不均一構造を形成することがある。このような太陽電池では結晶を用いた太陽電池と比べ、内部構造は複雑なものとなり、太陽電池の内部で性能の高い部分と低い部分がナノメートルサイズで入り交じって存在することになる。太陽電池デバイスからの外部測定では、この構造の不均一性による性能の分布が太陽電池の性能にもたらす影響を見積もろうとしても難しい。

本研究では、BHJ 構造を持つ有機薄膜太陽電池の局所的な性能分布がデバイスに与える影響について理解することを目的として、金属電極を取り払った有機薄膜太陽電池試料表面に原子スケールの空間分解能を持ち探針直下の局所 I-V カーブを測定できる走査トンネル顕微鏡法 (STM) を用いた新しい解析法を開発し適用した。STM を用いることで試料の表面形状および電子状態を知ることができるが、そ

れだけでは太陽電池の性能評価に繋がらないため、STM 観察下の試料に光を照射してトンネル電流信号の変化を計測したり、あるいは STM 観察時に試料から発する微弱光を観測したりすることを通じて、局所的な吸収率、内部量子効率、外部量子効率、開放電圧など、太陽電池の性能を決める主要な物性を取り出す測定手順や解析方法を確立した。さらに、こうした局所的な性能と、デバイス全体の性能との比較を行い、デバイス性能を局所性能から理解することを試みた。

## 審 査 の 要 旨

### 〔批評〕

本研究について発表後、4人の審査員に参加者を加えて内容についての質疑応答を行った。本研究では、単にSTMを構造の評価に用いるだけで無く、STMと光励起を組み合わせ工夫することで、開放電圧、短絡電流を求めることに加え、光電流の生成効率や取り出し効率を評価する有用な手法を開発していることが認識された。更に、光照射により発電を行う太陽電池に対し、逆の過程となる、STM 発光を用いた解析が行われていることが新しい試みである。偏向まで含めた発光強度を測定し議論することで太陽電池の内部構造や効率を解析する手法は斬新といえる。これら手法により、これまで業界で一般的に受け入れられてきた内容とは異なり、これまで一様と思われてきた有機材料の粒界中に細かい内部構造が存在し、それが全体の効率を決めるという新しい知見を得ている。これは、太陽電池を作製する際に必要となる新しい指針を与えるものである。本手法は、今後、有機太陽電池の効率を上げるための技術開発を進める上で、大きな役割を担うものと期待される。研究内容についての発表は良く整理されており、議論にも的確な対応がなされた。装置・手法の開発には、STMや真空系の知識や技術に加え、プログラム、回路、光学系の開発など多くの関連する分野の知識や工夫が必要とされるが、全てを十分にこなして成果を上げている。以上、全体として本研究は高く評価されるものと判断された。

### 〔最終試験結果〕

平成 28 年 2 月 16 日、数理物質科学研究科学学位論文審査委員会において審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって、合格と判定された。

### 〔結論〕

上記の論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。