

氏名・（本籍）	Das Sandeep Kumar（インド）		
学位の種類	博士（工学）		
学位記番号	生工博甲第208号		
学位授与の日付	平成25年9月27日		
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当		
学位論文題目	Bulk hetero-junction solar cells prepared from n-ZnO precursor (酸化亜鉛前駆体を利用するバルクヘテロ接合太陽電池)		
論文審査委員会	委員長	教授	玉川 雅章
		〃	春山 哲也
		〃	石黒 博
		〃	花本 剛士
		〃	鳥井 正史

## 学位論文内容の要旨

太陽電池には低コスト化と高効率化が望まれる。プリンタブル太陽電池は大気中、低温塗布で作製できるためこれらの要望を満たす太陽電池である。色素増感太陽電池はプリンタブル太陽電池の一つであり実用化検討が進んでいる。色素増感太陽電池は従来の太陽電池とは異なり、n型半導体層、色素層、電解質層からなる太陽電池である。電解液は液体/ナノポーラス半導体固体の界面で容易にかつ理想的な電子的接合を作ること可能としており、このヘテロ界面は高効率で電荷分離を行うことができる。一方、液体の存在が応用範囲を狭めていることも事実である。色素増感太陽電池を固体化する研究は色素増感太陽電池の研究初期から重要な研究テーマであった。従来の固体化するプロセスではポーラス半導体層の作製、色素吸着、p型半導体層の作製といくつかの工程を経なければならない。本報告では次世代の低コスト太陽電池を目指して、一回塗布によりポーラス半導体層/色素層/p型半導体層バルクヘテロ接合を形成する方法を報告している。

第一章では色素増感太陽電池、固体化色素増感太陽電池、有機バルクヘテロ接合太陽電池の構成、発電メカニズムを説明し、現状の問題点と、それを解決する方法、研究目標を記載している。

第二章では本研究の有機無機ハイブリッドバルクヘテロ接合型太陽電池作製に用いる材料、作製プロセス、太陽電池性能の分析、解析など実験条件を記載している。

第三章ではモデル材料を用いたバルクヘテロ接合層の作製プロセスに関する研究結果をまとめている。モデル材料には代表的なp型有機材料であるP3HTポリマーとn型材料であるフラーレン誘導体(PCBM)を用いている。従来薄膜形成に使われてきたスピコート法の材料使用効率は10%以下と低く、これは比較的高価な材料を使う有機系太陽電池の作製時の問題点であった。材料使用効率が50%以上と高い旋回流塗布法に注目した。スピコート法と旋回流塗布法で作製した有機バルクヘテロ接合太陽電池の特性を比較したところ、どちらの方法で作製しても同等の光電変換

特性が得られることがわかった。今後高価なサンプルを多く使用しなければならない場合には旋回流塗布法が有効であると結論している。

第四章では光電変換層を一括で作製した無機有機ハイブリッドバルクヘテロ接合太陽電池の作製プロセスと太陽電池特性について報告している。太陽電池構成は透明導電膜基板/酸化亜鉛/p型有機半導体/電極であり、酸化亜鉛/p型有機半導体バルクヘテロ接合層を一括塗布で作製する。酸化亜鉛前駆体には溶液に溶けるジエチル亜鉛を用いている。ジエチル亜鉛とp型有機半導体の溶液は均一であり、塗布が可能である。湿度をコントロールした雰囲気中で均一な溶液を塗布する。溶剤乾燥時にジエチル亜鉛が酸化反応、p型有機半導体中に酸化亜鉛ナノ粒子層が成長し、p型有機半導体とn型酸化亜鉛の相互侵入型構造を作製することができた。相互侵入型構造はp型有機半導体と酸化亜鉛前駆体の相互作用の強さによって異なるため、p型有機半導体の極性をコントロールすることにより太陽電池特性の最適化を図っている。

第五章では色素層を含めた光電変換層を一括で作製した無機有機ハイブリッドバルクヘテロ接合太陽電池の作製プロセスと太陽電池特性について報告している。太陽電池構成は透明導電膜基板/酸化亜鉛/色素層/p型有機半導体/電極であり、酸化亜鉛/色素/p型有機半導体バルクヘテロ接合層を一括塗布で作製する。ジエチル亜鉛、色素、p型有機半導体の溶液は均一であり、塗布が可能である。湿度をコントロールした雰囲気中で均一な溶液を塗布することにより、溶剤乾燥時にp型有機半導体中に酸化亜鉛ナノ粒子層が成長し、p型有機半導体とn型酸化亜鉛の相互侵入型構造、およびその界面に色素層が存在する三相バスクヘテロ接合界面を作製できた。色素層がn型酸化亜鉛層とp型有機半導体層の界面に存在することは、色素の吸収に相当する波長領域に光電変換感度曲線の応答があることから実証している。

第六章にこれまでの結果をまとめている。プロセスコストを安くするために、n型半導体/色素/p型有機半導体からなる三相バルクヘテロ接合を一度の塗布で作製することが可能であることを実証している。現状では太陽光変換効率は高くはないが、今後、酸化亜鉛の成長、色素の結晶性、p型材料の結晶性や両親媒性をコントロールすることにより、さらに効率向上が期待できる。

本論文はバルクヘテロ接合界面を一回の塗布で作製するという画期的なものであり、工学的に重要な知見を与えている。よって、本論文は、博士(工学)の学位論文に値するものと認める。

## 学位論文審査の結果の要旨

本論文について、調査委員から、バルクヘテロ接合界面の一括生成メカニズム、光電変換メカニズム、移動度測定条件、高効率化への指針などについて質問されたが、いずれも著者から満足(明確)な回答が得られた。

また、公聴会においても、多数の出席者があり種々の質問がなされたが、いずれも著者の説明によって質問者の理解が得られた。以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が博士(工学)の学位に十分値するものであると判断した。