

論文内容要旨 (和文)

平成 24 年度入学 大学院博士後期課程

有機材料工学 専攻 有機デバイス 分野

学生番号 12522214

氏名 王 忠強



論文題目 デバイス構造及び界面エンジニアリングによる高効率有機薄膜太陽電池

光を電力に変換することのできる太陽電池技術は、この十年余り、地球規模でのエネルギー・環境問題に対するソリューションの一つとして注目を集めてきた。特に有機薄膜太陽電池は、薄型・軽量・フレキシブルな太陽電池パネルを低コストで製造できる可能性があるとして、大いに期待されている。しかし、有機薄膜太陽電池は、他の無機系太陽電池と比較して効率がまだ低く、最大の課題はその変換効率の向上である。有機色素には、吸光係数の高いものが多く存在し、薄膜でも多くの光を吸収させることが可能であるが、変換効率が低いということは即ち、吸収された光のエネルギーを完全に電気に変換して外部に取り出せていないことが原因と言える。従ってその解決においては、材料のみならず、動作メカニズムや現象の理解を基としたデバイス面での改良が必要不可欠であると考えられる。そこで本論文では、デバイスエンジニアリングにより高効率な有機薄膜太陽電池を実現する有効な方法を見出すことを主なテーマとし、p-i-n構造の導入、逆構造の導入、電極界面への新規バッファー層の挿入など、デバイス構造や界面の改良を主な方法論として、多くのデバイスを作製し、評価・解析を行った。その結果、本論文において、有機薄膜太陽電池の変換効率を向上する新たな方法を提案し実証するに至った。

第1章では、有機太陽電池技術全体について導入を行った後、有機太陽電池の基本原理や動作メカニズム、作製プロセスについて述べた。

第2章では、低分子系ドナー材料であるテトラフェニルジベンゾペリフランテン (DBP) とアクセプタ材料フラレン C_{70} を用いた平面接合有機薄膜太陽電池の作製及びその評価結果について述べた。ドナー材料のDBPは、平面的な分子構造を有するが、有機薄膜太陽電池の中でも基板に並行な方向へ配向、すなわち異方性を示すことが分かった。デバイス面ではその配向性が利して、シンプルな平面接合素子でも4.2%と高い変換効率を示すことが分かった。

第3章では、DBPと C_{70} を用いたp-i-n構造の有機薄膜太陽電池の作製及びその評価結果について述べた。DBPは励起子拡散距離が短い材料で、バルクヘテロジャンクション (BHJ) での高効率化が難しかったが、DBPによるp層と、 C_{70} によるn層の中間に、DBPと C_{70} を混合したi層を挟むことで、従来の単純なp-n構造では4.2%であったところを、p-i-n構造では5.2%という高い変換効率を得ることに成功した。また、分光感度スペクトルの解析により、p-i-n型では、p-n型で見られなかった長波長部分での光作用が発見され、それは混合層における電荷移動状態に起因するものと結論付けた。また、長波長域における光作用は電流を増加させるが、その一方で開放電圧が若干小さくなる現象が見られ、その理由についてはダイオードの逆方向飽和電流の例に当てはめて解析した。

第4章では、逆構造を導入した有機薄膜太陽電池セルの設計、試作及び評価結果について述べた。適

切なデバイス構造とバッファ層の選択を行えば、逆構造でシャント抵抗が高くかつ効率的なキャリア取出しのできる素子の実現でき、結果的に、高いフィルファクターと変換効率を実現できることが分かった。また太陽電池の信頼性評価として、110°Cでの加速試験を行ったところ、順構造に比べて逆構造の素子の方が安定であることが分かった。これにより、有機薄膜太陽電池の信頼性は、構造やバッファ層の開発により改善できる可能性があることが分かった。

第5章では、高分子逆構造BHJ太陽電池における界面エンジニアリング及び、変換効率の改善結果について述べた。この太陽電池の活性層と陽極の間に独自バッファ層を挿入することによって、短絡電流及びフィルファクターを増加させることができ、結果的に高い変換効率を得ることができた。界面エンジニアリングは、高効率な高分子系太陽電池を作製する上で有用な技術と成り得る。

最終章では、それまでの結果や報告例を踏まえ、今後の展望や今後の取組みについて記した。本論文で得られた指針を活用しデバイス構造の改善により、有機色素の性能を最大限引き出し、高い変換効率を有する有機薄膜太陽電池を実現することが可能であると考えられる。

学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

平成27年 2月16日

理工学研究科長 殿

課程博士論文審査委員会

主査 城戸 淳二
副査 佐野 健志
副査 中山 健一
副査 横山 大輔
副査



学位論文の審査及び最終試験の結果を下記のとおり報告します。

記

論文申請者	有機材料工学専攻 有機デバイス分野 氏名 王 忠強		
論文題目	Device configuration and interfacial engineering for highly efficient organic photovoltaic cells (デバイス構造及び界面エンジニアリングによる高効率有機薄膜太陽電池)		
学位論文審査結果	合格	論文審査年月日	平成27年 1月28日～ 平成27年 2月 5日
論文公聴会	平成27年 2月 5日	場 所	工学部10号館10-405教室
最終試験結果	合格	最終試験年月日	平成27年 2月 5日

学位論文の審査結果の要旨 (1,000字程度)

本学位論文は、有機薄膜太陽電池の変換効率の向上を目的に、新たな素子構造や作製方法及び解析方法を提案し実証したものである。具体的には、以下の通り6つの章から構成され、デバイス構造及び界面の改良を主な方法論として、p-i-n構造や逆構造の導入、電極界面への新規バッファ層の挿入等、独創的な構造を含む多種のデバイスの作製・評価・解析を実施し、その結果として有機薄膜太陽電池の性能向上に向けた指針や具体的な方法が示されている。

第1章では、有機薄膜太陽電池技術全般に関する導入、有機薄膜太陽電池の基本原理や動作メカニズム、作製プロセスについて示され、変換効率向上に関する考え方や本論文で取り組む方向性について示されている。

第2章では、低分子系ドナー材料であるテトラフェニルジベンゾペリフランテン (DBP) とアクセプタ材料フラレン C70 を用いた平面接合有機薄膜太陽電池の作製と評価結果及び、分子の配向性に関する解析結果が示されている。

第3章では、DBP と C70 を用いた p-i-n 構造で 5.2% という高い変換効率を得ることに成功し、その理由に関して解析が行われている。また DBP と C70 の混合層における分子の配向性観察や電荷移動状態の解析に関して新規性がある。

第4章では、逆構造を導入した有機薄膜太陽電池の設計、試作及び評価結果について述べられている。逆構造では、有機薄膜太陽電池の重要課題であるフィルファクターが改善されたことが示され、解析が加えられている。

第5章では、逆構造を導入した有機薄膜太陽電池において、活性層と陽極の間に独自バッファ層を挿入することにより短絡電流及びフィルファクターが増加し、8%を超える高い変換効率を実現できたことが、詳細な解析とともに示されている。ここで用いた界面エンジニアリングは、高効率な高分子系太陽電池を作製する上で有用な技術と成り得る。

第6章では、全体の結果を踏まえ、得られたデバイス設計指針、今後の展望や取組みについて記されている。

本研究の成果は、厳正な査読を経て英文論文誌に3編が掲載された。加えて1編が査読中である。また国際学会発表3件、国内学会発表1件の成果発表を行っており、成果公表の点からも優れた活動実績がある。

以上の内容から、本学位論文は、工学分野における学術的解明及び技術・学術的貢献という観点からも寄与が大きく、博士(工学)の学位を授与するに十分であると判断し、合格と判定した。

最終試験の結果の要旨

最終試験では、論文申請者から本学位論文の内容に基づく発表(40分)の後、有機太陽電池の理論変換効率、デバイス作製・評価結果に関する解析、デバイス性能向上のための設計指針、実用化への課題等、物理面から工学面に至るまで本学位論文に関係する各種の質問(約50分)を行った。論文申請者はこれらの質問に対し、適切かつ具体的な説明を行い、自分の研究内容や周辺内容において十分に理解していることが示された。発表内容においては、独創性、豊富な実験・解析、有機太陽電池の高効率化に貢献する優れた成果が認められ、さらに学術論文の業績が十分であることから、合格と判定した。