

審査の結果の要旨

氏名 伊澤 誠一郎

本論文において、学位請求者（伊澤 誠一郎）は有機薄半導体膜中のナノ構造を分子設計によって合理的に制御し、太陽電池デバイス中での光電変換過程を高効率化することを目的とした研究を行なった。本論文は第 8 章から構成されている。

第 1 章では、研究の概要、背景、及び目的が論じられており、近年までの関連論文の成果や問題点を示すことで、本論文の意義が明確にされている。

第 2 章では、末端を官能基修飾したフッ素化アルキル基が結合したフラーレン誘導体を用いて、有機半導体薄膜表面を精密に制御する手法が述べられている。フッ素化アルキル基は表面エネルギーが低いため、混合溶液を塗布するだけで、それらが表面に偏析し、同時に各種官能基も薄膜最表面で単分子層を形成することを報告している。この有機半導体薄膜表面の修飾法は、簡便かつ様々な官能基を表面に導入できるため、画期的な手法であると言える。

第 3 章では、ドナー／アクセプター（D/A）界面第一層のエネルギーレベルが光電変換過程に与える影響について論じている。フッ素化アルキル基が結合したエネルギーレベルの異なる 2 つのフラーレン誘導体を用い、アクセプター薄膜表面のエネルギーレベルを制御し、さらにドナー薄膜を転写することで、D/A 界面第一層のエネルギーレベルの異なる 4 種類の太陽電池デバイスを作成することに成功している。D/A 界面第一層のエネルギーレベルがトラップ構造となったデバイスでは、開放電圧値、曲線因子が大幅に減少し、逆にカスケード構造のデバイスでは大幅に向上することを示している。これらのデバイス性能の大幅な変化の原因である電荷再結合過程の変化を、温度可変電流電圧測定などにより確かめている。この結果は、電荷分離・再結合過程に対しての D/A 界面第一層のエネルギーレベルの重要性を初めて実験的に示したと言える。さらにカスケード構造は電荷再結合を大幅に抑制することができるため、有機薄膜太陽電池の性能向上のための鍵となる D/A 界面構造を見出したと評価できる。

第 4～7 章においては、ドナーとアクセプターが共有結合で連結したダイアド分子を用いて、そのドメイン構造を制御した結果について述べられている。

第4章において、ドナー部位のオリゴチオフェンの繰り返し数の異なるダイアド分子の合成に成功している。ドナー部位の共役鎖長の長いダイアド分子において、D/A のドメイン形成が促進され、電荷輸送効率の向上することを報告している。その結果、短絡電流密度、曲線因子などのデバイス性能が飛躍的に向上することを示している。

第5章においては、ドナー部位の側鎖のアルキル鎖長が異なる新規ダイアド分子を合成し、アルキル鎖長が結晶性及び、デバイス性能に与える影響について論じられている。

第6章では、平面性のアクセプターを用いた時の D/A のドメイン構造の変化について述べられている。これまで多くのダイアド分子ではアクセプターとしてフラーレン誘導体がいわれてきたが、フラーレン誘導体がドナー部位の結晶性を阻害することが問題となっていた。この新たに合成した平面性のアクセプターを用いたダイアド分子では、X線回折から D/A が別々に結晶化することを報告している。

第7章においては、ダイアド分子を用いた太陽電池デバイス中での D/A のドメイン構造の安定性について論じている。これまで主に用いられてきた D/A の物理混合の系では熱によりそれぞれのドメインの凝集が起き、光電変換特性の劣化が不可避であると報告されている。本論文でのダイアド分子を用いたデバイスでは、110度という高温で3日間熱処理を行っても、相分離構造はほとんど変化せず、光電変換効率もほとんど低下しないことを報告している。これらの結果はダイアド分子を用いた D/A のドメイン構造制御で、効率向上を達成しただけでなく、物理混合を超える安定なデバイスを作成できた点において、分子設計に基づいた有機薄膜太陽電池中のナノ構造制御の重要性を示したと言える。

第8章では本研究の総括及び今後の展望が論じられている。

本論文における、光電変換に適した D/A 界面近傍のエネルギー構造や、D/A ドメインの凝集構造の知見は、今後、有機デバイスを高性能化するための新規材料の創出や構造制御のための指針を与える素晴らしい成果であるといえる。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。