

審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 ホグベリー ラルス ダニエル オスカー

電池やキャパシタなどの電気化学デバイスは、我々の日常生活に欠かせないものとなっている。電気化学デバイスは、イオン伝導体を電子伝導性の電極で挟んだ構造からなる。従来のイオン伝導体には、分子性溶媒に塩を溶かした液体が用いられてきた。しかし、液漏れによる危険防止、次世代型フレキシブル薄膜デバイス開発の観点から、電解質の固体化が求められおり、活発に研究が行われている。しかしながら、一般に固体中のイオン移動および固体電解質/電極界面における電荷移動が遅いため、液体電解質に勝る性能を示す固体電解質はまだ開発されていない。このような背景の中で、近年、液晶性分子の自己組織化を活用して、イオンを効率良く輸送するナノチャンネル構造を構築する試みが注目されている。本論文は、色素増感太陽電池への応用のためのナノ構造液晶イオン伝導体の開発に関する研究について述べている。本論文は、六章で構成されている。

第一章は序論であり、色素増感太陽電池の基本原理と開発動向ならびに液晶材料の物性と機能について紹介し、色素増感太陽電池が直面する問題点を克服するためにナノ構造液晶イオン伝導体を開発する意義と材料開発の新しいコンセプトが述べられている。

第二章では、環状カーボネート基をアルキレンスパーサーにより結合した棒状メソゲン分子とヨウ素レドックス対を有するイミダゾリウムイオン液体からなる新しい二成分系液晶電解質の設計と合成、色素増感太陽電池への応用が報告されている。イオン-双極子相互作用により、二成分が自己組織化して、幅広い温度範囲で層状構造を有するスメクチック液晶相が発現することが示されている。電極間で均一に配向したスメクチック液晶の層に平行および垂直方向のイオン伝導度の測定によって異方的伝導性が示され、エックス線回折測定の結果と合わせてイオン液体が二次元的な伝導パスを形成していることが述べられている。この液晶電解質を用いて、有機色素で表面修飾した酸化チタン電極とプラチナ電極からなる色素増感太陽電池を構築し、最大で5%の光電変換効率を達成している。また色素の種類による変換効率への効果についても示され、考察されている。

第三章では、液晶色素増感太陽電池の熱的特性を研究し、イオン液体を電解液に用いたデバイスと比較し、液晶電解質を用いたデバイスの特性が述べられている。液晶を用いた色素増感太陽電池は、作動温度が上昇すると光電変換効率が上昇することが報告されている。一方、液体を用いた色素増感太陽電池では、作動温度が高くなると、色素修飾電極から電解質への逆電子移動が加速するために変換効率が低下することが述べられている。液

晶太陽電池デバイスにおけるこのような高温（約 90℃）での安定した作動は、液晶分子が酸化チタン微粒子の表面で配列して、逆電子移動を抑制することに由来すると考察している。従来の色素太陽電池における主な問題の一つは、温度上昇に伴う変換効率低下であり、液晶電解質の活用はこの課題を解決する一つのアプローチとして有望であると述べられている。

第四章では、液晶色素増感太陽電池の変換効率を改善するための液晶電解質の設計が示されている。棒状メソゲン分子と環状カーボネート基の間のスペーサー部位に、より柔軟で極性の高いオリゴオキシエチレン鎖を導入することで、アルキルスペーサーを有する誘導体を用いた色素増感太陽電池と比較して、変換効率が室温で 6 倍高増加することが報告されている。変換効率上昇は、液晶電解質中におけるイオン伝導度の増加に起因すると考察されている。

第五章では、より熱的に安定な液晶電解質の設計及び太陽電池の開発が述べられている。ヨウ素レドックス対を有するイミダゾリウム塩構造を有する棒状液晶分子を設計し、第四章で開発した二成分系液晶と液晶性の比較を行っており、一成分系のイオン性液晶分子において熱安定性が格段に向上することが示されている。また、一成分系液晶を用いた色素増感太陽電池は、二成分系液晶電解質を用いたデバイスと比べて、より高温の 120℃でも長期的な安定性を示すことが述べられている。このような高温安定作動する色素増感太陽電池はこれまでに前例が無いことが示されている。

第六章では本論文の結言であり、本研究を総括し、今後の展望について述べている。

以上のように、本論文は色素増感太陽電池への応用のための新しいイオン伝導性液晶の開発とデバイス構造の最適化に関する研究について述べたものである。これらの結果は、次世代に必要とされる電解質材料の開発に新しい知見を提供し、今後の継続可能社会の発展に貢献するものであると期待され、材料化学の分野の進展に寄与するものである。

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。