

氏名・(本籍)	西尾 行生 (福岡県)	
学位の種類	博 士 (工 学)	
学位記番号	生工博甲第286号	
学位授与の日付	平成29年3月24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	金属表面の表面電荷ブロッキング層による色素増感太陽電池の効率化	
論文審査委員会	委員長	Tingli Ma
論文審査委員		早瀬 修二
論文審査委員		Shyam S. Pandey
論文審査委員		横野 照尚

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

2007年に、オランダのECN (Energy Research Centre of the Netherlands)のKroonらは、コスト、効率面から色素増感太陽電池の解決すべき課題の一つとして透明導電膜TCOの存在を挙げ、バックコンタクト型の構成で色素増感太陽電池のTCOレス化を提案していた。

早瀬研では、当初ステンレスメッシュを用いた電極を持つバックコンタクト型TCOレス色素増感太陽電池を報告していた。ステンレスメッシュはヨウ素系電解液に対する耐食性が悪く、素子が短寿命であることが問題であったと述べている。ステンレスメッシュの代替材料として耐食性の優れたチタンメッシュを用いた素子が提案されていた。しかしその発電効率はステンレスメッシュ電極を用いた場合に比較し、1/3程度と低効率であったという問題点を指摘している。西尾氏はチタンメッシュ表面にレーザー表面改質法で緻密チタンナイトライドの電荷ブロッキング層を形成すると大幅に短絡電流(Jsc)が向上することを発見した。本研究ではチタンメッシュを用いたバックコンタクト型TCOレス色素増感太陽電池の性能向上の指針を提案し、その効果を実証することを目的としている。

第1章では序論として色素増感太陽電池をとりまく社会的環境や将来展望を述べている。本研究の背景として、色素増感太陽電池の基本的な構成と光電変換メカニズムを記述するとともに、解決すべき課題を述べている。また、本論文が目標としているのは、TCOレスの色素増感太陽電池の持つ課題を解決して高効率化を達成する事、及びその機構を明らかにすることであると述べている。

第2章には本研究に用いた色素増感太陽電池の評価方法を機器、測定原理、解析方法を含め記載している。

第3章では本論文の目指す TCO レスバックコンタクト型色素増感太陽電池の構造と実験条件を詳細に述べている。ステンレスメッシュで作製した太陽電池とチタンメッシュで作製した太陽電池の発電性能を詳細に解析し、解決すべき問題点はバックコンタクト電極界面での逆電子移動を抑制することであると述べている。チタンから電解液への逆電子移動防止を期待してチタン電極に緻密チタンナイトライド膜の形成を提案している。チタンメッシュの表面をレーザー改質の技術を用いて緻密チタンナイトライド化し、その膜厚を変化させた太陽電池を作製した。それらの太陽電池の特性 (V_{oc} 、 J_{sc} 、FF、IPCE、電子寿命、発電効率) とナイトライド膜厚との相関を議論している。緻密チタンナイトライドの厚みが 1000-1600nm において、未処理に比較し、 V_{oc} が 1.4 倍、 J_{sc} が 2.8 倍に向上し、効率が 4.3 倍となることを報告している。大幅な効率向上は、チタンと電極の界面に緻密 TiN の膜が形成されることによりチタン電極から電解液への逆電子(電荷再結合)が抑制されたためと説明されている。

第4章では緻密チタン酸化薄膜をチタン電極表面に形成した太陽電池と、緻密チタンナイトライド薄膜を形成した太陽電池の特性を比較している。この中でチタンナイトライドは酸化膜と比較して電荷再結合に関する効果は大きな差がないが前者は金属チタン電極への電荷注入性能が良いと述べている。これらの結果から緻密チタンナイトライド膜が緻密酸化膜よりも効率が低いのは電荷再結合を抑制しているにもかかわらず電荷注入が良いためと説明している。

第5章では結論を述べている。TCO レスバックコンタクト電極としてチタンを用いる場合、チタン電極表面に窒化膜や酸化膜のバリア層を作製する事でチタン電極と電解液との間の電荷再結合が抑制できること、また窒化膜は酸化膜よりもチタニアからチタン電極への電子注入が良いことを見出したことを述べている。さらに電荷ブロッキング層の膜厚、導電性、伝導帯の準位、キャリア密度の最適化が高効率を達成するための指針であるとも述べている。本研究の成果は今後の TCO-less 色素増感太陽電池の効率向上の指針を提案したという点で重要な意義を持っている。

学位論文審査の結果の要旨

本論文に関し、論文審査委員から逆電子移動に関するメカニズム、窒化膜の構造、窒化膜で電子注入が良い原因、今後の研究の展開などについて質問がなされたが、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。