

論文審査の結果の要旨

氏名 全 俊豪

本論文は「紫外線照射と大気圧プラズマ処理を併用した色素増感太陽電池のチタニア薄膜用低温焼成法の開発」と題し、5章から成っている。

第1章は序論であり、研究の背景と目的を述べている。色素増感太陽電池は、シリコン型太陽電池よりも低コストの太陽電池である。厚さ 10 μm の多孔質チタニア (TiO_2) 薄膜を光電極とし、これを色素で色付けして光の吸収波長域を広げている。チタニア電極は TiO_2 ナノ粒子を 450°C 以上で焼成して作製するため、基板にプラスチックを使用できず高価なガラス板しか使用できない。低コスト化および軽量化のため、焼成温度をプラスチックが使用できる 150°C まで下げる試みもなされているが、まだ十分な変換効率は得られていない。本論文では、高温焼成並みの変換効率を有する色素増感太陽電池を、低温焼成で製作する手法を開発する。

第2章は、色素増感太陽電池の動作原理と、本論文で開発する低温焼成法の説明である。チタニア電極は、 TiO_2 ナノ粒子を有機溶媒に分散させたチタニアペーストをガラス基板に塗布して焼成し作製する。有機溶媒は高温で揮発し、残された TiO_2 ナノ粒子がネッキングとよばれる結合をする。有機溶媒中のバインダと呼ばれる物質がネッキングを促進するが、バインダは低温では揮発しないため、150°C 焼成の先行研究ではバインダを含まない低温焼成用ペーストが用いられている。その結果ネッキングが不十分になり、十分な変換効率が得られていない。本研究では、バインダを含む市販の高温焼成用チタニアペーストを用いて低温焼成を行う。UV 光およびプラズマで生成される OH, O, O_3 など活性種の化学反応でバインダを揮発させ、かつネッキングを促進させる。

第3章は、150~450°C の低温焼成で作製したチタニア電極のプラズマおよび UV 処理である。プラズマ処理にはバリア放電を用い、プラズマを直接チタニア電極に照射する直接法と、プラズマで生成した O_3 でチタニア電極を処理する間接法を用いている。150°C 焼成後に間接法で処理すると、 O_3 の働きでバインダを除去できることが示されている。さらに直接法で処理するとネッキングも促進され、焼成温度 250°C 程度でも 450°C 焼成と同程度の変換効率が得られている。いくつかの実験により、これは OH や O ラジカルの効果によるものと考察している。次に低圧水銀ランプを用いた UV 処理を行い、同様に 250°C 程度の焼成で 450°C 焼成と同程度の変換効率が得られている。これは UV で生成された OH ラジカルの効果であることが示されており、OH の生成速度が 50 倍以上速い Xe₂ エキシマランプを用いた UV 処理では処理速度が 20 倍程度速くなることも示されている。しかしいずれの手法も、本研究の目標である 150°C 焼成では十分な変換効率が得られていない。

第4章は、前章の手法を改良した、低温焼成と同時に UV 処理を行う手法の開発である。この手法とプラズマ処理を組み合わせ、本研究の目標である 150°C 焼成でも 450°C 焼成と同程度の変換効率を得ることに成功している。試料を SEM-EDX、XPS、吸光分析、電気化学インピーダンス計測で分析し、これらの処理でバインダ除去、色素吸着量の増加、チタニア薄膜の電子拡散長の増加がなされていることを示している。本論文では、色素増感太陽電池用の熱膨張率の小さい高価なガラス基板ではなく、安価な熱膨張率の大きいガラス基板を用いているため、焼成温度が 300°C を超えると透明電極膜の電気抵抗が増加する。低温焼成ではこの電気抵抗の増加がないことも、変換効率の向上に貢献している。すなわち、本手法はプラスチック基板だけでなく、安価なガラス基板の使用にも道を拓く。また、ガラス基板だけでなくプラスチック基板にも本手法が適用できることも実験で示している。本論文ではチタニアペーストを一度だけ塗って製作した厚さ 4 μm のチタニア電極を使用しているが、本来は変換効率が最大になる 10 μm の電極をペースト 3 度塗りで作る。しかし本手法では電子拡散長が 8.4 μm しか得られておらず、10 μm の電極に適用するにはあと少し電子拡散長を増やす必要があることを示し、今後の課題としている。

第5章は総括で、本研究で得られた成果をまとめている。

以上要するに、本研究は紫外光およびプラズマ処理を用いた色素増感太陽電池の 150°C 低温焼成法を開発し、従来の 450°C 焼成と同程度の変換効率を得ることに成功するとともに、様々な分析を通してその処理原理の解明も行うなど、先端エネルギー工学、特にプラズマ応用工学に貢献するところが大きい。

なお、本論文第3章から第4章は、小野亮氏、小田哲治氏との共同研究であるが、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（科学）の学位を授与できると認める。

以上 1,990 字