

平成30年 2月26日





豊橋技術科学大学長 殿

電気・電子情報工学専攻
学位審査委員会
委員長 大平 孝



論文審査及び最終試験の結果報告

このことについて、学位審査会を実施し、下記の結果を得ましたので報告いたします。

学位申請者	Pascal Sugri Fuseini Nbelayim		学籍番号	第 149203 号
申請学位	博士 (工学)	専攻名	大学院工学研究科博士後期課程 電気・電子情報工学 専攻	
博士学位論文名	Nanoscale Interface Control for Advanced Electrochemical Devices (機能性電気化学デバイスのためのナノスケール界面制御)			
論文審査の期間	平成 30年 1月18日 ~ 平成 30年 2月20日			
公開審査会の日	平成30年 2月20日	最終試験の実施日	平成30年 2月20日	
論文審査の結果※	合格		最終試験の結果※	合格
<p>審査委員会(学位規程第6条)</p> <p>学位申請者にかかる博士学位論文について、論文審査、公開審査会及び最終試験を行い、別紙論文内容の要旨及び審査結果の要旨のとおり確認したので、学位審査委員会に報告します。</p> <p>委員長 武藤 浩行 </p> <p>委員 伊崎 昌伸  服部 敏明  松田 厚範 </p>				

※論文審査の結果及び最終試験の結果は「合格」又は「不合格」の評語で記入すること。

論文内容の要旨

本論文は、液相プロセスを用いてナノスケールで界面制御を行うことで機能性電気化学デバイスの作製とその特性向上を目指したものである。ナノスケール薄膜を用いて耐久性のある超撥水表面を形成し、電子ペーパーや焦点可変レンズ等の表示素子などに有用な低電圧駆動エレクトロウエットングを検討している。さらに種々の銀/酸化チタンコアシェル構造を用いてプラズモニックナノ構造が色素増感太陽電池の特性に及ぼす影響を調べ、光電変換効率の向上を達成している。論文は全6章で構成され、その研究成果がまとめられている。

第1章では、ナノサイエンス・ナノテクノロジーに関する研究の歴史と背景を述べ、機能性電気化学デバイスの開発におけるナノスケールでの界面制御の重要性を指摘すると共に、本論文の概要をまとめている。第2章では、液相法を用いて熱的・化学的耐久性を有する超撥水表面と低電圧駆動エレクトロウエットング表面を作製し、その特性評価を行っている。温水処理を伴うゾルーゲル法や交互積層法を駆使して水接触角 $167.2 \pm 0.8^\circ$ の超撥水表面の作製に成功し、優れた耐熱性・耐薬品性・耐UV性を実証している。また、これに電極を導入して3Vの低電圧で駆動するドデカン/水系エレクトロウエットング表面を創出している。第3章では、銀ナノ粒子をコア、酸化チタンをシェルとする Ag@TiO_2 コアシェル粒子を作製し、これを光電極に用いた色素増感型太陽電池 (DSSC) を構築している。粒径約 20nm に制御された Ag@TiO_2 ナノ粒子 (TiO_2 シェル厚約 2nm) を作製し、DSSC へ応用している。表面プラズモン共鳴による近接場増強の効果に加えて、 TiO_2 伝導帯構造の変化、励起電子の寿命、電子・正孔再結合が DSSC の光電変換効率に及ぼす影響を詳細に議論し、高効率化の指針を示している。第4章では、粒径や形状の異なる Ag@TiO_2 粒子を作製し、第3章と同様に DSSC を構築して Ag@TiO_2 粒子のサイズや形状がその特性に及ぼす影響を調べている。粒径やサイズが多分散になると粒子の濃度が増大した場合に、近赤外領域における光電変換効率が増大することなどを明らかにしている。第5章では、 Ag@TiO_2 コアシェルナノワイヤーを作製し、DSSC へ応用している。第3章と第4章で明らかにしたプラズモニックナノ構造が DSSC の特性に及ぼす影響を検証すると共に、 Ag@TiO_2 コアシェルナノワイヤーでは、光励起電子が効率的に半導体に輸送されて変換効率が増大する事実を含め新規 DSSC 構築の指針を示すことかできた。最後に第6章では、各章で得られた知見をまとめて全体を総括している。

審査結果の要旨

ナノ材料科学では、物質をナノレベルまで微粒子化し、元の物質の性質とは全く異なる性質を発現させて、化学・電子・光・触媒・エネルギー等の幅広い分野へ応用しようとしている。例えば、物質と電極間における電子の授受やそれに伴う化学反応に基づく電気化学デバイスが精力的に研究されているが、高い機能を有する電気化学デバイスを開発するためには、異種物質間の界面をナノスケールで制御することが重要になる。このような観点から、申請者は、高価な装置を必要としない液相プロセスを用いて異種物質界面の制御をナノスケールで行い、ナノコーティング薄膜を用いて耐久性のある超撥水表面を創出し、低電圧駆動によって液体の接触角を制御するエレクトロウエットング技術を開発している。さらに種々の銀/酸化チタンコアシェル (Ag@TiO_2) 粒子を用いてプラズモニックナノ構造が色素増感太陽電池 (DSSC) の特性に及ぼす影響を調べ、その性能向上を達成しており、これらの成果は、機能性電気化学デバイスの重要な設計指針を与えるものであると言える。

申請者は温水処理を伴うゾルーゲル法によって基板上に擬ペーライト結晶を析出させることでナノレベルの凹凸を形成し、これに交互積層法によってフッ素系高分子 Nafion[®] を積層することで極めて高い水接触角 167.2° と優れた耐久性を有する超撥水表面の形成に成功している。さらに、電場印加による接触角の制御と特性の劣化機構を明らかにしている。

また申請者は、チタンアルコキシドと硝酸銀を出発物質に用いる液相法によって、界面活性剤、有機還元剤、キレート化剤を巧みに使って、粒径の揃った Ag@TiO_2 コアシェルナノ粒子、粒径や形状が様々な Ag@TiO_2 コアシェルナノ粒子、さらに Ag@TiO_2 コアシェルナノワイヤーを調製することに成功した。これらを光半導体電極として用いたプラズモニック DSSC を構築し、表面プラズモン共鳴による近接場増強効果に加えて、 TiO_2 伝導帯構造の変化、励起電子の寿命・輸送、電子・正孔再結合がプラズモニック DSSC の光電変換効率に及ぼす影響を詳細に議論し、高い変換効率を有する DSSC の設計のための重要な指針を得ている。

本研究によって得られた成果は、表示素子や太陽電池などの機能性電気化学デバイスの特性を向上させる上で有用な知見を与えるものであり、学術的にも、工業的にも価値の高いものであると判断される。以上により、本論文は博士 (工学) の学位論文に相当するものと判定した。