

審査の結果の要旨

氏名 銭洋

本論文は” Tailoring SWCNTs and MoS₂ based nanomaterials for application in photovoltaic devices (光電変換デバイス応用に向けた単層 CNT 及び MoS₂ 由来ナノ材料の開発)”と題し、次世代の光電変換デバイスへの応用に向けて、単層カーボンナノチューブ (Single-walled carbon nanotubes, SWCNT) , 遷移金属ダイカルコゲナイド(Transition metal dichalcogenide, TMDC)の代表 MoS₂, SWCNT と同心の MoS₂ ナノチューブよりなるヘテロナノチューブなどの CVD 合成, 光学及び電子顕微鏡評価, SWCNT/シリコンヘテロ接合太陽電池およびペロブスカイト型太陽電池への応用を示した論文であり, 全 5 章から構成される。

第 1 章は, "General Introduction (序論)"であり, SWCNT や MoS₂ などの TMDC の幾何学構造と電子物性, 次世代太陽電池の概要, 次世代太陽電池におけるナノマテリアルの応用などの研究動向について議論している。

第 2 章は, "General Experimental Methodology (実験手法の概要)"であり, SWCNT や MoS₂ などの低次元物質に関して, 走査型電子顕微鏡(SEM), 透過型電子顕微鏡(TEM), ラマン散乱分光, フォトルミネッセンス分光, 紫外・可視・近赤外吸収分光(UV-Vis-NIR), X 線光電子分光法(XPS)での評価について議論するとともに, 太陽電池評価, 薄膜のシート抵抗評価手法について議論している。とくに, SWCNT/シリコンヘテロ接合太陽電池の評価手法や MoS₂ 薄膜の CVD 合成手法については詳細に議論している。

第 3 章は, "Multifunctional Effect of p-Doping, Anti-Reflection, and Encapsulation by Polymeric Acid for High-Efficiency and Stable SWCNT-Si Solar Cells (高効率かつ安定な CNT/シリコンヘテロ接合太陽電池に向けたナフィオンによる p 型ドーピング, 反射防止, 保護膜効果)"である。透明導電膜として優れた性能を示す適度なバンドル構造を有する SWCNT 膜を n 型シリコンの表面に接合し, SWCNT を適量のナフィオンでコーティングすることで, 最大 14.4 %の光電変換効率(PCE)が実現できることを示した。この光電変換効率は, 非常に小さな受光面で

の実験の報告を除くと世界記録である。また、大気中での長期間の安定性も実現している。このメカニズムに関して、ナフィオンによる p 型ドーピングによる SWCNT 薄膜のエネルギーレベルの最適化、最適なナフィオン厚による反射防止膜効果、ナフィオンが大気中の水分などの侵入を防ぐ保護膜効果を示すことを議論している。

第 4 章は、”Controlled Synthesis of SWCNTs and MoS₂ based Nanomaterials and their Application in Photovoltaic Devices (光電変換デバイス応用に向けた SWCNT および MoS₂ 由来のナノ材料の制御合成)”である。通常の 2 次元の MoS₂ 薄膜については、CVD 装置を開発して単層の単結晶合成および多層大面積合成を実現している。また、SWCNT 薄膜をテンプレートとした MoS₂ 合成によって SWCNT と同心状に MoS₂ ナノチューブを合成できることを示した。さらに、SWCNT と同心の窒化ホウ素ナノチューブ(BNNT)の外側に MoS₂ ナノチューブを合成することにも成功している。これらのヘテロナノチューブについて TEM 分析を行うとともに光学特性を検討している。これらのナノ材料を用いて、MoS₂ ナノチューブを吸収層とした光電変換デバイスでの光応答を実証するとともに、ペロブスカイト型太陽電池においてヘテロナノチューブがホール輸送層兼電極として優れた特性を示すことを実証した。

第 5 章は結論であり、上記の研究結果をまとめたものである。

以上要するに本論文は、SWCNT や SWCNT を基盤とするヘテロナノチューブの制御による SWNT/シリコンヘテロ接合太陽電池、ペロブスカイト型太陽電池への応用を述べたものであり、優れた新規光電変換デバイスの可能性を示している。本論文はナノマテリアルの合成制御および光電変換デバイスに関する新たな知見を与えており、ナノ材料工学及び分子熱工学の発展に寄与するものだと考えられる。

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。