

審査の結果の要旨

氏名 崔可航

本論文は” CVD growth control and solar cell application of single-walled carbon nanotubes (単層カーボンナノチューブの CVD 合成制御と太陽電池応用)”と題し、ナノテクノロジーの中心的素材である単層カーボンナノチューブ (Single-Walled Carbon Nanotube, SWNT) の CVD 合成制御, SWNT 集合体の配列制御と SWNT/シリコンヘテロ接合太陽電池への応用を示した論文であり, 全 6 章から構成される.

第 1 章は, "Introduction (序論)"であり, カーボンナノチューブやグラフェンなどの炭素の同素体の幾何学構造, 電子物性, 電子顕微鏡評価, 吸収分光・近赤外蛍光分光・マラン分光などの光学評価およびその合成技術の最近の研究動向について議論している.

第 2 章は, "Motivation, challenges and organization of the thesis (論文の目的と構成)"であり, SWNT の太陽電池応用の可能性の一般論と本論文の構成を述べている.

第 3 章は, "High-efficiency air-stable SWNT-silicon heterojunction solar cell (高効率かつ大気中で安定な CNT/シリコンヘテロ接合太陽電池)"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 SWNT 膜を n 型シリコンの表面に接合することで, 光電変換効率が 11%程度の太陽電池を作製できることを実証した. ドーピングを用いない CNT/シリコンヘテロ接合太陽電池の光電変換効率の世界記録を更新した. また, 作製プロセスは大気雰囲気かつ常温下で可能であり, 1 年間大気中に放置しても光電変換効率の低下が観察されない高い安定性を有することを明らかとした. 光電変換効率は透過率 80%程度の SWNT 膜を用いた場合に最大となり, 分光感度特性に SWNT の吸収に由来する特性が見られないことから, シリコン側で光の吸収と励起子の形成がおこり, SWNT が優れた正孔コレクターとして動作することで高い光電変換効率が得られていることを明らかとしている.

第4章は、”Microstructure control of SWNTs for solar cell applications (太陽電池応用に向けた SWNT のマイクロ制御)”である。均質な垂直配向 SWNT 膜に短時間水蒸気を暴露することで、疎水性の膜表面に形成される微小な水滴によって SWNT が特異なハニカム構造に配列することを見出している。従来からポリマーにハニカム構造をつくるために用いられている Breath Figure 法(BF法)と類似のメカニズムであると考察し、SWNT 膜厚などによるハニカム構造の制御を実現している。また、ハニカム膜の光吸収特性やラマン分光評価を行ったうえで、ヘテロ接合太陽電池を形成し、優れたフィルファクターと光電変換効率を示している。また、太陽電池の等価回路モデルによる評価からシリーズ抵抗がランダムな SWNT よりも大きく改善することを示している。

第5章は、”CVD controlled growth of SWNT films for solar cell applications (太陽電池応用に向けた SWNT の CVD 合成制御)”である。銅とコバルトの合金ナノ粒子をデップコート法によって作成することで、従来は実現不可能と考えられてきた平均直径 1 nm 以下の SWNT による垂直配向膜の合成に成功している。SWNT の成長メカニズムに迫るとともに、光吸収分光、ラマン分光から垂直配向 SWNT 膜の特性評価を行っている。

第6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、SWNT の CVD 合成制御、ハニカム構造への自己組織化と SWNT/シリコンヘテロ接合太陽電池への応用を述べたものであり、優れた新規太陽電池デバイスの可能性を示している。本論文は SWNT の合成制御および新規太陽電池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。