

## 審査の結果の要旨

氏名 エイナルソン エリック ジー

本論文は“Synthesis and characterization of vertically aligned single-walled carbon nanotubes (垂直配向単層カーボンナノチューブ膜の合成と評価)”と題し、ナノテクノロジーの中心的素材として注目を集めている単層カーボンナノチューブ (single-walled carbon nanotubes, SWNTs) の実用的な応用に向けて、基板と垂直に配向した SWNTs 膜の CVD 合成の制御と光・電子分光による評価を試みたものである。独特の垂直配向膜の CVD 合成中のレーザー吸収測定などを用いた合成メカニズム解明と、ラマン分光, 吸収分光, 電子回折, 電子エネルギー損失分光(EELS), 透過型電子顕微鏡(TEM)などの分光学的手法による評価によって、ナノチューブの束 (バンドル) が極めて細く、1次元的な電子構造に対するバンドル化の影響が小さいことを明らかとしたものであり、論文は全9章よりなっている。

第1章は, "Introduction(序論)"であり, カーボンナノチューブなどの炭素の同位体の幾何学構造について議論し, 論文全体の流れを述べている。

第2章は, "Nanotube physics (ナノチューブの物理)"であり, 本論文の基礎となるカーボンナノチューブの電子物性, 光学物性についての従来の研究を整理している。

第3章は, "Characterization methods (評価方法)"であり, 単層カーボンナノチューブの評価方法として用いられる, 走査型電子顕微鏡観察, 透過型電子顕微鏡観察, 吸収分光, 共鳴ラマン分光などの分光学的手法について, ナノチューブの電子・光学物性と振動モードを比較して詳細に述べている。

第4章は, "Vertically aligned SWNTs from alcohol (アルコールから合成する垂直配向単層カーボンナノチューブ)"であり, アルコールを炭素源とした CVD による単層カーボンナノチューブ合成と合成メカニズム, デップコート法による触媒担持方法や CVD 実験装置についての詳細を述べている。

第5章は, "Elucidating the growth process (成長過程の観察)" であり, CVD 時間を変えた場合に得られる垂直配向膜厚さの変化についての直接的な観察のために, CVD 中のレーザー吸収リアルタイム測定を実現している. また, この結果を, 触媒の活性度が反応の進行とともに減少する現象論的モデルによって説明し, 反応路に不純物がある場合には, SWNT が燃えることによる厚さの現象もあり得ることを示している.

第6章は, "Spectroscopy with photons (フォトンによる分光)" であり, 偏光吸収分光による配向度の見積もり, モードロックファイバーレーザーへの応用などとともに, シンクロトロン放射光によるX線吸収分光によっても可視域の偏光吸収分光と同程度の配向度が観測できることを示している.

第7章は, "Spectroscopy with electrons (電子分光)" であり, 垂直配向 SWNTs 膜を基板から外して自立膜とすることで, 電子エネルギー損失分光(EELS)を行い, 垂直配向 SWNTs の電子構造に対するバンドル化の影響が小さいことを示している.

第8章は, "Transmission Electron Microscopy (透過型電子顕微鏡観察)" であり, TEM グリッドに垂直配向構造を維持した状態で載せることで, ナノチューブ膜をチューブ軸平行方向から直接観察し, バンドルのサイズがナノチューブ10本以下と小さいことを明らかとしている.

第9章は, "Summary (結論)" であり, 上記の研究結果をまとめたものである.

以上を要するに, 本論文では垂直配向単層カーボンナノチューブ合成過程のレーザー吸収によるその場観察とそれに基づく成長メカニズムの解明を進めるとともに, 垂直配向膜におけるナノチューブのバンドルサイズが小さく, 1次元的な電子構造がバンドル化の影響を受けていないことを示したものである. 本論文は SWNTs の合成メカニズムと垂直配向膜の構造に関する新たな知見を与えており, 分子熱工学の発展に寄与するものであると考えられる.

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。