

審査の結果の要旨

氏名 糟谷 圭吾

本論文の「走査型電子顕微鏡を用いた一次元ナノ構造体の成長過程のその場観察に関する研究」は、工学と学術の両方に対して独創的で有用な論文である。

本論文は、ナノテクノロジーの分野における一次元ナノ構造体、特に酸化タングステンナノワイヤや単層カーボンナノチューブに注目する。これらの一次元ナノ構造体は将来の集積回路や電子デバイス、光学素子に適した新素材であり、これまでに広く研究されてきた。しかし、これまでの研究では一次元ナノ構造体を高温真空下の化学合成で作成しているため、その成長過程を詳しく観測できず、その結果、合成中の成長過程は明らかではなかった。そして、成長過程がわからないために、条件を制御して再現性良く作成できなかった。本論文はこの成長過程を測定する新しい手法を提案し、いくつかの一次元ナノ構造体の成長過程を観測して、その成長メカニズムを初めて明らかにした。

本論文が提案する手法は、走査型電子顕微鏡を用いて一次元ナノ構造体を合成しながら観察する「局所 CVD 装置」を用いる方法である。この装置は走査型電子顕微鏡内の局所的な領域においてのみ、1000°Cまでの試料を加熱し、10Pa までの反応ガスを供給しながら CVD できる。この装置は、観察と干渉しないように局所的に合成反応できるので、従来の走査型電子顕微鏡では観測できなかった成長過程をその場で観察できるようになった。つまり、この装置は、いずれの材質の一次元ナノ構造体の研究においても、成長過程分析に有効なツールであり、今後の学術発展に貢献できる。本装置の CVD では、熱伝導と希薄流体力学を用いて定量的に合成を制御したが、これは本研究者の生産技術者としての高い資質を示している。

本論文では、開発した局所 CVD 装置を用いて、酸化タングステンナノワイヤの成長過程をリアルタイムで観察するのに初めて成功した。また単層カーボンナノチューブの成長を断続的に観察するのにも成功した。

酸化タングステンナノワイヤの観察では、タングステン表面で酸素と反応して核生成した後徐々にファイバーが長くなり、一定時間の後に一定の長さに飽和する過程が、または、本数の増加やナノワイヤの直径変化などが明らかになった。これらは初めて公開された実験事実であり学術的な価値がある。さらに、酸化タングステンナノワイヤの成長メカニズムを解明した。これまでに、各研究者によっていくつかの成長メカニズムが提案されているが、リアルタイムに成長過程を観察できないのでそれらは推測の域をでていなかった。本論文は成長過程をその場観察することで、酸化したタングステンが根元から固相成長するメカニズムを直接に示した。本論文では実験に先立って、これまでに行われていた酸化タングステンナノワイヤの研究と、そこで提案された成長メカニズムとを詳細調査し

て体系化した後に、それらと比較しながら本論文が提案する根元からの固相成長メカニズムの妥当性を評価した。モデルの提案やその評価は妥当であり、本研究者が材料の研究者としての高い資質を示している。単層カーボンナノチューブの観察では、合成のたびに基板上に新たに成長するナノチューブを観察した。そこで、一度成長したナノチューブは合成を中断して CVD 用のガスを流さないと、成長も中断してそれ以上は伸びないことを明らかにした。本論文ではこの理由として、触媒の汚染もしくはナノチューブの基板との接触によって成長が止まることを提案している。

本論文は独創的な研究であり、しかも、成長メカニズムに関する知見は学術的に重要であり、開発された装置は工学的に重要である。また、本研究者は、論文や発表の論旨も理路整然としており、一般的に研究者としての資質も高い。

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。