

氏名(本籍)	前 ^{まえ} 田 ^だ 雅 ^{まさ} 俊 ^{とし} (千葉県)		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	博甲第4580号		
学位授与年月日	平成20年3月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	数理物質科学研究科		
学位論文題目	カーボンナノチューブの成長制御とデバイス応用に関する研究		
主査	筑波大学教授(連携大学院)	金山敏彦	工学博士
副査	筑波大学教授	村上浩一	工学博士
副査	筑波大学准教授	藤田淳一	博士(工学)
副査	大阪大学教授	松本和彦	工学博士

論文の内容の要旨

本博士論文は、カーボンナノチューブの成長制御を達成し、これを用いて様々な応用を図ることを目的としている。内容を大別すると、1) カーボンナノチューブの成長制御法の確立、2) 室温動作単一電子トランジスタの作成方法の確立、3) 室温動作単一電子トランジスタプロープの試作からなる。

1) カーボンナノチューブの成長制御法の確立においては、電界印加によるカーボンナノチューブの成長方向の制御、および成長中の電流をモニターすることによる成長本数制御からなる。カーボンナノチューブをCVD法で成長する際、 $4V/\mu m$ の電界を印加するとカーボンナノチューブが分極して電界方向に成長する方向が制御できる。しかし、電界が弱い場合は方向制御がほとんどなされない。また高い電界の際は、陰極近傍のカーボンナノチューブが、水素イオンによりエッチングされ対極まで到達しない問題が発生した。この解決法として、成長初期は高い電界を、成長終期には低い電界になるように印加電圧に傾斜を持たす手法を提案し、カーボンナノチューブが電極間に架橋する確率を90%近くまで高めることに成功した。2つの電極間に電圧を印加し、カーボンナノチューブの成長中の電流をモニターすると階段状の変化が生じることを発見した。これはナノチューブが対抗電極に架橋するごとに電流が階段状に増加することに起因することを見出した。これにより、成長中の電流をモニターすることにより、一本ずつカーボンナノチューブの本数を制御する手法を確立した。

2) 室温動作単一電子トランジスタの作成方法の確立においては、原子間力顕微鏡(AFM)を用いてカーボンナノチューブに2つの欠陥を導入してトンネル接合とする手法、および、硝酸ランタンをカーボンナノチューブに付着させ、アルゴン雰囲気中で過熱することにより硝酸ランタンに含まれる限定された量の酸素を用いてカーボンナノチューブを酸化させて欠陥を導入する手法を開発した。AFMを用いた手法では欠陥間隔が22nmの試料と15nmを作製し、いずれも室温でクーロン振動、クーロンダイヤモンドが観察され、単一電子トランジスタの室温動作に成功した。さらに欠陥間隔のサイズ、すなわち島領域のサイズによりチャージングエネルギーが制御できることも示した。硝酸ランタンを使用する手法では、700℃で加熱することで欠陥を導入することができ、大/小/大と変化するクーロンダイヤモンド特性が得られた。この特性をシミュレータを用いて解析した結果、カーボンナノチューブに3つの欠陥が導入され、その間に2つの島

領域がある構造で、同様の特性が得られることが判明した。したがって、硝酸ランタンを用いて酸化したカーボンナノチューブでは、いくつかの欠陥が導入されるが、その中で3つの欠陥が単一電子トランジスタ特性に寄与したものであることが判明した。

3) 室温動作単一電子トランジスタプローブの試作では、シリコン/酸化シリコン/窒化シリコン基板にMEMS技術を適用し、さらにこれにカーボンナノチューブ成長技術と室温動作単一電子トランジスタ作製技術をあわせることにより、室温動作単一電子トランジスタプローブを作製した。試料は室温でクーロン振動特性を示し、室温動作に成功した。カーボンナノチューブ単一電子トランジスタ (SET) と電界効果トランジスタ (FET) とを比較し、SETの方がFETよりも3桁近く単一の電荷を検出する際に感度が高いことを示した。しかし実際の作製した室温動作単一電子トランジスタプローブではカーボンナノチューブチャンネルと電荷を検知すべき試料との距離が大きいため電荷の検出ができなかった。この問題を解決する手法を提案した。

以上のように、カーボンナノチューブの方向/本数を制御して成長する技術の確立、単一電子トランジスタを室温動作させる2つの手法の確立、および室温動作単一電子トランジスタプローブの開発に成功したことが本博士論文の内容である。

審 査 の 結 果 の 要 旨

前田雅俊氏の博士論文の内容は、カーボンナノチューブの成長、デバイス作製プロセスおよびデバイス特性評価と、基礎から応用まで多岐にわたり、レベルの高い成果を多く挙げていると言える。研究遂行に当たっては様々な工夫を凝らし、独創性に富む内容の結果を得ている。さらに困難な作製プロセスを粘り強く遂行して、最後に達成している点など、高く評価できる。

よって、著者は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。