

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 13606 号
------	---------------

氏 名 内山 晴貴

論 文 題 目

ダイヤモンド窒素空孔中心-カーボンナノチューブハイブリッド構造の創製と量子状態の電氣的制御に関する研究

(Study on fabrication of diamond nitrogen-vacancy center-carbon nanotube hybrid structure and electrical control of quantum state)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	大野 雄高
委員	名古屋大学	教授	西澤 典彦
委員	名古屋大学	教授	藤巻 朗
委員	早稲田大学	教授	川原田 洋

論文審査の結果の要旨

内山晴貴君提出の論文「ダイヤモンド窒素空孔中心-カーボンナノチューブハイブリッド構造の創製と量子状態の電氣的制御に関する研究」の概要は以下の通りである。

ダイヤモンド中の窒素不純物と空孔欠陥が結合したNVセンターは、室温でコヒーレンス時間の長いスピンを持っており、室温における量子情報処理技術を実現し得るナノ構造として期待されている。従来、NVセンターのスピンの制御としては、光学的な手法により書き込み、読み出しなどが実現されている。量子計算に必要なエンタングルメント状態を実現するには20-30nm程度に近接させてNVセンターを配置ことで実現されるが、個々のNVセンターを独立に制御することは光学的に手法では難しく、極微細配線を用いて電氣的に制御する必要がある。本論文では、カーボンナノチューブを極微細配線として用い、その微細構造の周りに形成される強力な磁場や電場を用いてNVセンターのスピンを制御しようという全く新しい提案を行うとともに、それを実験的に実現するべく、計測技術やナノプロセス技術の確立を行い、最終的にはカーボンナノチューブに流れる電流によるNVセンターのスピンの状態の変調まで達成している。

論文は次の7章構成で構成されている。

第1章では、序論 本研究の背景と位置づけが明快に述べられている。

第2章では、ダイヤモンドNVセンターやその電子構造、光学的特性などの基礎物性がわかりやすくまとめられている。

第3章では、ダイヤモンドNVセンターの形成方法についてまとめられている。特に、ダイヤモンド基盤表面の浅い位置にイオン注入を用いて形成する方法について、シミュレーションと実験から検討した結果が述べられている。さらに、表面修飾によりNVセンターの電荷状態の制御も実現している。

第4章では、ナノダイヤモンド薄膜に含まれるNVセンターを用いて、配線に流れる電流を検出を実現している。測定周波数に注目したノイズの低減など、基礎的な測定計の構築としての位置づけであるが、半導体デバイスの動作時の電流分布の可視化など、電子デバイスのオペランド計測につながる技術である。

第5章では、第4章の実験において、電極のエッジ付近でNVセンターの応答が増強される現象を見出し、それが照射しているマイクロ波が電極エッジに集中していることに起因していることを詳細な実験に基づいて明らかにしている。このマイクロ波集中効果は新しい高感度化手法と言える。

第6章では、ダイヤモンド表面に形成したNVセンターの電氣的制御を目指し、カーボンナノチューブに沿ってNVセンターを自己整合的に形成する手法を確立し、カーボンナノチューブとNVセンターのハイブリッド構造を実現するとともに、カーボンナノチューブに流れる電流により、NVセンターのスピンの状態を変調することが可能なことを実証している。

第7章では、まとめと展望が述べられている。

以上のように本論文はダイヤモンドNVセンターの電氣的制御の実現しようという非常に挑戦的なテーマではあるが、高度な計測系の構築や、カーボンナノチューブとNVセンターのハイブリッド構造デバイスの提案から構築まで自身で行い、最終的にカーボンナノチューブに流れる電流によりNVセンターのスピンの変調まで至っており、将来の量子情報処理の実現につながる重要な研究がなされている。公聴会においては本研究の次のステップとして期待される量子計算の実現に向けた課題について有意義な議論がなされた。よって、本論文の提出者である内山晴貴君は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格があると判断した。