

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 石井 晃博

本論文は「Exciton Diffusion and Photon Antibunching in Carbon Nanotubes」と題し、全6章および付録から構成され、英文で執筆されている。本論文では、単一の架橋カーボンナノチューブに対する顕微分光測定により、一次元材料に特有の励起子拡散の性質について新たな知見を得ており、さらにカーボンナノチューブの室温中における光アンチバンチングの特性、並びにドーピング準位とシリコン微小共振器との光結合に関する調査の成果についてまとめられている。

第1章「Introduction」では、カーボンナノチューブにおける励起子の性質について述べられており、励起子拡散がナノチューブの光物性に及ぼす影響が解説されているほか、カーボンナノチューブを用いた単一光子発生に関する近年の報告が紹介されている。さらに、カーボンナノチューブにおける励起子拡散の性質を明らかにし、また、一次元系における励起子拡散が引き起こす光アンチバンチングの特性を調査するという本論文の目的を記述している。

第2章「Photoluminescence microscopy on air-suspended single-walled carbon nanotubes」では、架橋カーボンナノチューブの合成方法ならびに測定方法が説明されている。ここでは、単一のカーボンナノチューブを効率的に探索・評価するための全自動光学測定システム的设计について述べているほか、数千本に及ぶ特性評価の結果から架橋カーボンナノチューブのカイラリティを正確に同定するための情報を抽出している。この方法によって作製及び評価された試料は第3章および第4章で用いられており、また第5章においても試料特性評価のために同じ測定システムが使用されている。

第3章「Exciton diffusion and exciton-exciton annihilation」では、カイラリティが特定された高品質な単一架橋カーボンナノチューブに対する詳細な光学特性評価の結果から、励起子拡散の性質を明らかにし、複数のカイラリティについて励起子拡散長を求めている。また、励起光強度に対する発光強度の依存性をモンテカルロシミュレーションを用いて詳しく分析することにより、これまで多くの先行研究がなされてきたにも関わらず見落とされてきた、一次元

材料であるナノチューブ特有の励起子－励起子消滅の性質を明らかにしている。

第4章「Photon antibunching in air-suspended carbon nanotubes」では、室温におけるカーボンナノチューブの光アンチバンチングの観測について報告している。架橋カーボンナノチューブにおいては長い励起子拡散長により励起子－励起子消滅が非常に効率的に起きることに注目して測定を行っており、光子相関係数  $g^{(2)}(0)$  の値が励起光強度によって大きく変わることを見出している。特に、低パワーにおける長時間の測定を実施することにより、室温中の架橋カーボンナノチューブにおいて 0.5 を下回る  $g^{(2)}(0)$  を初めて得ており、単一光子生成の実証に成功している。さらに、カイラリティや架橋長さの異なるナノチューブについて相関係数の違いを調べ、理想的な単一光子源の実現のために求められる条件について論じている。

第5章「Integration of carbon nanotube dopant emitters with silicon microcavities」では、ミセル化カーボンナノチューブにおいて室温中での単一光子生成を可能とするジアゾニウムドーピングの手法を利用し、シリコン微小共振器との結合による発光特性の向上について調査している。ドーパント準位に合わせて設計された二次元フォトリソニック結晶微小共振器上では、ドーパントに束縛された励起子であっても高い効率で共振器モードと結合し得ることが示され、さらに発光寿命測定を行うことで励起子の緩和時間が共振器の影響により大幅に短くなっていることが確認されている。

第6章「Conclusion」では本研究の成果をまとめ、今後の展望を述べている。

以上これを要するに、本論文は、単一架橋カーボンナノチューブに対する詳細かつ系統的な顕微分光測定によって励起子拡散の特性を明らかにし、また、励起子－励起子消滅過程が一次元性に由来する特異な性質を有することを示した上で、これらの性質を利用して室温における架橋カーボンナノチューブからの単一光子発生が可能であることを光アンチバンチング測定により初めて実証するとともに、ドーピングされたナノチューブとシリコン微小共振器との結合による発光特性の向上を報告しており、電子工学の発展に寄与するところが少なくない。

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。