審査の結果の要旨

論文提出者氏名　　宇田　拓史

本論文は「Screening effects on excitons in air-suspended carbon nanotubes」と題し、全5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、光伝導度測定やフォトルミネッセンスにより、架橋カーボンナノチューブにおける励起子の束縛エネルギーや光双安定性・全光メモリ動作について新たな知見を得ており、一次元物質であるカーボンナノチューブの光特性を支配する励起子の静電遮蔽効果についてまとめている。

第1章「Introduction」では、カーボンナノチューブの光学特性に関する最近の進展を述べ、ナノチューブの光学デバイスへの応用において励起子物性解明の重要性を説いている。ここではナノチューブの光学特性は電子と正孔が対をなした形を持つ励起子により支配されており、そのエネルギーがナノチューブ表面近傍の状態に強く依存するため、同一構造のナノチューブであっても外部遮蔽によりその光学特性が変化するという特徴を述べている。また、その特性の理解および応用に向けて、溝を架橋したカーボンナノチューブの測定の有用性を述べ、励起子の遮蔽効果を明らかにするという本論文の目的を記述している。

第2章「Nanotube devices and optical setup」では、カーボンナノチューブに対して光伝導度測定を行う上で必要となる、単一架橋カーボンナノチューブ電界効果トランジスタの作製方法を説明している。また、光伝導度およびフォトルミネッセンス測定を行う光学測定系の詳細についても述べている。

第3章「Limited screening of excitonic states in air-suspended carbon nanotubes」では、単一架橋カーボンナノチューブに対するフォトルミネッセンス・光電導度同時測定を利用した励起子構造の調査結果についてまとめている。ここでは、電圧を加えることで新たな吸収ピークが生じることを観測し、さらにそのピークのナノチューブ直径に対する依存性を検討することで、通常は光学遷移が禁止された暗い励起子による吸収が発現することを明らかにしている。また、自由キャリアに対応する連続状態の直接的な観測にも成功しており、発光エネルギーとの比較から、単一架橋カーボンナノチューブにおける励起子の束縛エネルギーを明らかにしている。加えて、界面活性剤で覆われたナノチューブにおける実験結果と比較することにより、カーボンナノチューブにおける励起子に対する遮蔽効果の大きさについて論じている。

第4章「Exciton manipulation with screening effects induced by adsorbed molecules」では、単一架橋カーボンナノチューブにおける吸着分子による遮蔽効果を利用した励起子の操作について報告している。ここではナノチューブに特有の吸収エネルギーから離調させたレーザー光でナノチューブを加熱した場合、レーザー強度に対する光双安定現象が見られることを明らかにしている。また、そのメカニズムが吸着分子に由来し、加熱によって分子が脱離することにより遮蔽効果が吸収効率を大きく変化させることが原因であることも述べている。さらに、励起波長依存性や励起偏光依存性などにもそのような光双安定現象が起きることを見出している。

このような光双安定現象を利用し、単一カーボンナノチューブを利用した全光メモリ動作の実

証にも成功している。また、分子の脱離・吸着時間を時間分解測定により計測し、ナノチューブメモリへの書き込み・消去時間を求めている。

第 5 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、単一の架橋カーボンナノチューブに対する光伝導度およびフォトルミネッセンスの同時測定により励起子への遮蔽効果の影響を明らかにし、また、表面分子による遮蔽効果に由来する光双安定現象を見出すとともに、これを利用した全光メモリ動作を実証しており、物性物理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。