

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 吉田 匡廣

本論文は「Electric field effects on excitons in individual 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、単一カーボンナノチューブ電界効果トランジスタにおけるフォトルミネッセンスや光電導度測定により、励起子の自発的解離・励起子のシュタルク効果・荷電励起子の誘電遮蔽効果について新たな知見を得ており、擬一次元物質であるカーボンナノチューブの光物性を支配する励起子の電界応答に関する成果をまとめている。

第1章「Introduction」では、カーボンナノチューブの光エレクトロニクスに関する最近の進展を述べ、デバイス応用に向けてナノチューブの励起子物性解明の重要性を説いている。ここでは、ナノチューブの電子構造は巻き方（カイラリティ）に大きく依存しており、通常の合成方法では様々な巻き方のものがランダムに成長するため、バンド構造が大きく異なる種類が混在してしまうという課題を示し、その解決に向けた単一カーボンナノチューブの測定の有用性を述べ、励起子の電界下での挙動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「Carbon nanotube field effect transistors」では、カーボンナノチューブに対して電界を印加するためのデバイスである、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。測定に用いるデバイスは2種類あり、第3章で用いるバイアス電圧印加用のデバイスと第4章で用いるゲート電圧印加用のデバイスについて記述している。

第3章「Bias voltage effects on excitons in individual 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発光スペクトル及び光電流の電界依存性を論じている。ここでは、光電流の電界依存性からゼロ電圧近傍でも光電流を観測し、ナノチューブの励起子が数百 meV もあるにも関わらず自発的解離していることを明らかにした。また、発光強度と光電流量の相関を基にして、大部分の励起子が再結合する前に解離していることを示すだけでなく、ナノチューブの吸収断面積と振動子強度を抽出することにも成功した。

さらに、発光エネルギーが電界に対して2次関数的に赤方偏移を起こしていることも明らかにした。ジュール熱が励起光強度に依存することと発光線幅が加熱によって広がることを利用して、温度上昇による赤方偏移ではなく、電界印加そのものに由来する発光エネルギー変化であることを示した。複数のカイラリティにおいて同様の測定を繰り返すことで、赤方偏移が理論的に予測されたシュタルク効果と定量的に一致していることを示した。

第4章「Gate-voltage induced trions in suspended carbon nanotubes」では、単一架橋カーボンナノチューブに対してゲート電圧を印加しつつフォトルミネッセンス測定を行うことにより、励起子と一つのキャリアが束縛された荷電励起子（トリオン）の観測に成功したことを報告している。発光スペクトルから得られた光学活性の励起子と荷電励起子とのエネルギー差を基に、荷電励起子の束縛エネルギーを求め、溶液中のナノチューブでの荷電励起子の束縛エネルギーより

も大きいことを明らかにした。これは架橋ナノチューブが溶液中のものよりも周辺環境の誘電率が小さいため遮蔽効果を受けにくくなり、キャリア間のクーロン相互作用が増大したためであると論じている。

第5章「Conclusions」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、カーボンナノチューブを組み込んだ電界効果トランジスタにおいて、カイラリティを明らかにした上でのフォトルミネッセンスおよび光電導度測定により、励起子が自発的に解離することを実験的に明らかにするとともに、シュタルク効果について理論との定量的な比較を行い、さらに架橋カーボンナノチューブにおける荷電励起子の観測に成功し、その誘電遮蔽効果について論じており、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。