



Title	Quantum Electrodynamics of Excitons with Radiative Relaxation
Author(s)	馬場, 基彰
Citation	大阪大学, 2009, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/49609
rights	©American Physical Society
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

【78】

氏 名	ばん ば もと あき 馬 場 基 彰
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	第 2 3 0 2 7 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 21 年 3 月 24 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 基礎工学研究科物質創成専攻
学 位 論 文 名	Quantum Electrodynamics of Excitons with Radiative Relaxation (輻射緩和を伴う励起子の量子電磁力学)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 三宅 和正 (副査) 教 授 井元 信之 教 授 伊藤 正 大阪府立大学大学院工学研究科教授 石原 一

論 文 内 容 の 要 旨

2 0 0 4 年に発表された半導体中の励起子分子を利用した量子もつれ光子対生成の報告を受け、その解析を動機として、凝縮系の励起子に対する量子電磁力学理論の開発を行った。本理論は任意の空間構造を持つ物質に適用可能であり、励起子の非輻射的な緩和を考慮することができる。また、励起子重心運動に起因する光学感受率の非局所性を記述することが可能である。特に、ナノ構造物質における励起子の重心運動閉じ込めと光の量子性の両方を記述できることが、本理論の特徴である。さらに、本理論は任意構造の物質に対する具体的な計算法を明確に与えており、それが与えられていなかった同様の先行理論に比べ、この点が本理論の新規性の核と言える。本理論を用いた量子もつれ光子対生成の解析については、他で発表済みである。本論文では上記理論を完成させ、さらに次の応用として、閉じ込め系から無限系にかけての励起子の輻射緩和時間に関する研究を行った。これは、2 0 年以上に渡って議論されてきたテーマであり、ナノ結晶では輻射緩和時間が結晶サイズに反比例するのに対し、十分大きな結晶では逆に、結晶サイズとともに増大することが知られてきた。これら 2 つの輻射緩和と描像の移り変わりについては、既にかくつかの論文でその解釈が発表されていたのに対し、本研究では、その移り変わりの条件を明確に示すことに初めて成功し、群速度との関連まで含んだ包括的な理解を与えることができた。一方、本理論から、有限な凝縮系における、光との相互作用まで繰り込んだ励起子の遅延相関関数が得られることが分かった。本研究では、この関数の解析的表式を現象論的に考案し、厳密な計算で得られる値と比較することで、それが厳密解の良い近似となっていることを示した。この解析的表式から時間秩序・温度相関関数を導くことによって、有限な凝縮系において輻射緩和を伴う励起子の非線形過程や熱緩和過程のより詳細な議論が可能になると考えられる。これは、量子もつれ光子対生成だけでなく、その他の一般的な非線形・緩和過程研究への展開に道を拓くものである。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本研究では、任意の空間構造を有するナノ構造に閉じ込められた励起子の量子電磁気学的性質の解明を目的とし、励起子の重心運動に起因する光学感受率の非局所性と輻射場の量子性の両方を取り入れた全量子理論の構築を行った。またその応用としてナノ構造からバルクまでの励起子輻射緩和の統一的な記述を行っている。さらに外場を取り込んだ相関関数が計算可能であることに基づき、本理論の非線形応答への展開の道筋を示した。以下に結果の要約を記載する。

(1) 本理論は任意の空間構造を持つ物質に適用可能で、また励起子の非輻射的緩和を取り入れた形に定式化された。特に、この理論が任意構造物質に対する具体的計算法を明確に与えている点が、従来理論に比べたときの新規性の核となっている。

(2) 本理論の一つの応用として、閉じ込め系から無限系にかけての励起子の輻射緩和時間に関する研究を行っている。ナノ結晶では輻射緩和時間が結晶サイズに反比例するのに対し、十分大きな結晶では逆に、結晶サイズとともに増大する。これらの統一的記述は長年の課題となっていたが、本研究では、その移り変わりの条件を明確に示すことに初めて成功し、輻射緩和の試料サイズ依存性に対する包括的な理解を与えた。

(3) 本理論において、有限サイズの凝縮系における、光との相互作用を繰り込んだ励起子の遅延相関関数が得られることを明らかにした。この解析的表式から時間秩序・温度相関関数を導くことによって、輻射緩和を伴う励起子の非線形過程や熱緩和過程の詳細な議論が可能になる。これは、非局所系における、全量子理論に基づいた一般的な非線形・緩和過程研究への展開に道を拓く成果である。

以上のように、本論文は、量子電磁気学、量子光学の枠組みで扱われてきた諸問題を本格的な物性物理学的課題として研究するための理論的基礎を与えた。よって博士(工学)の学位論文として価値のあるものと認める。