

氏名(本籍)	いけ ざわ みち お 池 沢 道 男 (茨 城 県)
学位の種類	博 士 (理 学)
学位記番号	博 乙 第 1542 号
学位授与年月日	平成11年7月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
審査研究科	物理学研究科
学位論文題目	Study of Many Exction States and Homogeneous Width of Confined Exciton in CuCl Quantum Dots (塩化第一銅量子点に閉じ込められた多励起子状態と励起子の均一幅の研究)
主査	筑波大学教授 理学博士 舩本 泰章
副査	筑波大学教授 理学博士 大塚 洋一
副査	筑波大学教授 理学博士 福谷 博仁
副査	筑波大学教授 理学博士 中塚 宏樹

### 論 文 の 内 容 の 要 旨

半導体量子点のバルク結晶には見られない新しい性質を解明することが、現代の物性物理学に求められている。本論文の前半は、励起子が量子点の中に閉じ込められていることによって起こるバルク結晶には見られない新しい励起子状態の観測についての研究である。実験では、励起子が重心運動の閉じこめを受けており、“弱い閉じ込め”の代表的な系となっている塩化第一銅 (CuCl) 量子点を塩化ナトリウム (NaCl) 結晶中に成長させた試料が用いられた。実験方法は、サブピコ秒レーザー光源を用いたサイト選択時間分解ポンププローブ分光が用いられた。粒径分布による不均一に広がった吸収スペクトルの中からある特定の粒径の量子点を選択的に励起することで過渡的に新しい状態を観測することが出来る。この方法により、励起された量子点の吸収がなくなり高エネルギー側に新しい吸収帯を作っているのが観測され、かつ、この吸収帯のエネルギーが量子点の粒径によって変化し、小さい量子点ほど高エネルギーにシフトすることが明らかにされた。この新しい吸収帯は、量子点中に励起子が一つ作られたときに、さらにもう一つの量子点を作るために必要なエネルギーに現われることが理論計算との比較から明らかになり、そうして形成される量子点中の2励起子状態は、この研究とほぼ同時期に理論的に存在が予言されていた“弱く結合した2励起子状態”と呼ばれるものである。これは3次元的な量子閉じ込めの起こる量子点に特有の状態であり、量子点の光学非線形性に重要な寄与があると考えられている。

さらに、量子点中の3つの励起子がどのような状態になるかということを調べるために、2段階の選択励起が行なわれ、3励起子状態に至る誘導吸収帯が見出された。

論文の後半ではCuCl量子点中の励起子の均一幅の研究が行われた。フォトンエコー法のような時間領域の分光法ではスペクトル分解能に制限が無いのでCuCl量子点について蓄積フォトンエコー法を用いて極めて狭い均一幅の測定、およびその温度依存性が調べられた。蓄積フォトンエコー法は注目する2準位の他に、寿命の長い第3のボトルネック準位が存在する系で有効な方法で、ボトルネック準位の寿命に比べて繰り返し時間の短いパルス列による励起を行い信号を蓄積して検出する方法である。信号が通常のフォトンエコーに比べて強く現れることから、励起光のパワーを下げる事が出来る。CuCl量子点では永続的ホールバーニング現象が観測されており、ボトルネック準位の存在があるのでこの方法により高感度に位相緩和時間の測定を行なうことが出来る。

量子点の位相緩和に及ぼすマトリクスの影響を調べるために、NaCl結晶中のCuCl量子点の他にガラス中のCuCl

量子点が用意され、実験の結果、位相緩和時間は2K付近の低温領域で数百ピコ秒に達するほど長いことが明らかにされた。また対応する均一幅の値は数 $\mu$  eVのオーダーになり極めて狭い事が明らかにされた。均一幅の温度依存性は、10K以上の高温領域では半導体量子点に特有の閉じ込められてエネルギーが離散的になった音響フォノンモードにより、より低温ではガラスなどに見られる TLS (two level system) の寄与で説明された。マトリクスによる違いとしては、温度依存性はNaClとガラスとで特に低温で異なり、NaCl結晶中のCuCl量子点の方が、ガラス中のCuCl量子点に比べて温度依存性が強く均一幅も狭い。この結果により低温における量子点中の位相緩和は、励起子が量子点中に閉じ込められているにもかかわらず低温ではマトリクスの関係する低エネルギーの素励起によって支配されているという事が明らかにされた。

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は、CuCl量子点における2励起子状態、3励起子状態の観測および励起子均一幅の温度依存性に関する二つの実験研究である。前半の研究では弱い閉じ込め領域に属する量子点で、反結合2励起子状態、3励起子状態が初めて明らかにした点が高く評価できる。また、後半の研究では量子点中の極めて狭い励起子の均一幅とその温度特性を明らかにし、マトリクスに依存した量子点中の励起子の均一幅およびその温度依存性を系統的に研究したことが、高く評価できる。

よって、著者は博士（理学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。