

氏名(国籍)	ひょん 玄	びょんりゅう 柄 律	(韓 国)
学位の種類	博 士 (理 学)		
学位記番号	博 甲 第 2,061 号		
学位授与年月日	平 成 11 年 3 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
学位論文題目	Coherent Dynamics of Excitons in Semiconductor Quantum Structures (半導体量子構造における励起子のコヒーレントダイナミクス)		
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	長 澤 博
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

〈半導体量子井戸における励起子のコヒーレント過渡応答についての研究〉

従来の半導体量子井戸に関する多くの超高速コヒーレントダイナミクスの研究には、コヒーレントな励起子分極の再放射効果とその伝播効果は無視されてきた。しかし、伝播効果は一般的に存在し、超短パルスが光学的に厚い試料を伝播する場合には、特に重要となる。

本研究では、(GaAs)<sub>53</sub>/ (AlAs)<sub>53</sub>多重量子井戸を用いて、励起子共鳴領域でブリュースター角入射反射型時間分解分光を行った。測定されたコヒーレント信号は量子井戸層間を伝播する励起子ポラリトンの上枝・下枝間の干渉による振動構造を示し、さらに、重い正孔励起子と軽い正孔励起子による量子ビートも明らかに観測された。この実験結果は量子井戸層間を伝播する励起子ポラリトンを考え、伝送行列とフーリエ変換を利用してコヒーレント信号を計算した結果と一致した。また、励起強度の増加に伴うコヒーレント信号の減衰の増加を観測し、これは励起子密度の増加によって引き起こされた励起子間散乱による位相緩和の増加に対応していることを示すことにも成功した。

〈半導体量子点における励起子の均一幅についての研究〉

量子点中における励起子の均一幅についての理解は量子点の本質と関わっているにも関わらず、均一幅の温度依存性やそのメカニズムはまだ解明されていない。これまでのスペクトル領域の研究は励起強度が強く、飽和効果や励起子散乱の効果が無視できず、分光器の分解能による実験的な制約などによって、均一幅の本質的なメカニズムを見失っている可能性が高いと思われる。一方、きわめて弱い光を用いた時間領域の研究は上記の制約を乗り越えて均一幅の本質的なメカニズムを解明する強力な手段を与える。そこで蓄積光エコーと呼ばれる、ボトルネック準位への蓄積効果を積極的に利用した光エコーの測定方法を用いた。この測定方法の利点は、きわめて弱い光エコーが測定でき、また、蓄積光エコー信号のフーリエ変換が永続的ホールバニングスペクトルとなることである。

本研究では、ガラス中のCuBr量子点における励起子の均一幅のメカニズムを調べるためヘテロダイナミクス型蓄積光エコー法を用いて異なる半径(2.9, 3.8, 4.8と6.5nm)を持つ試料について量子点1個当たりの励起子数の期待値が $10^3$ 以下の励起強度で均一幅の温度依存性の測定が行われた。

半径6.5nmのCuBr量子点の場合、低温での均一幅は温度に比例し、その係数を説明するには閉じ込められた音響フォノンによる広がりと考えられる。実際、球型弾性体モデルで計算した閉じ込められた最低エネルギーの

音響フォノンの周波数は $12.5\text{cm}^{-1}$ であり、低温でのエコー信号のフーリエスペクトルでその音響フォノンのスペクトルが確かめられた。

一方、半径がもっと小さくなる(2.9, 3.8, 4.8nm)と均一幅の温度依存性は、 $T^{1.3}$ に比例した温度依存性を表し、量子点表面のキャリアのtrap状態や、いわゆる二つの極小値をもつポテンシャル井戸から構成される二準位系(Two-Level Systems: TLS)を構成するモデルの適用が考えられた。

TLSモデルによると、光エコーから観測された励起子の均一幅の温度依存性( $T^{1.3}$ )はHuber理論によってよく説明できる。すなわち、 $E^{0.3}$ に比例するTLSの状態密度や励起子とTLS間の弾性的な相互作用を仮定すると均一幅の $T^{1.3}$ の温度依存性が理論的に得られて実験結果がよく説明できることが明らかにされた。

## 審査の結果の要旨

本論文は、(1)半導体量子井戸における励起子のコヒーレント過渡応答、および(2)半導体量子点における励起子の均一幅についての二つの実験研究である。

(1)半導体量子井戸における励起子のコヒーレント過渡応答の研究では、多重量子井戸間を伝播する励起子のコヒーレント過渡応答における伝播効果を明らかにした点が高く評価できる。

(2)半導体量子点における励起子の均一幅の研究では、量子点の低温における新しい均一幅の温度依存性を明らかにし、これを決める閉じ込められた音響フォノンと二準位系による新しい機構を提案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。