

# Electronic states and their spin structures of strain-induced GaAs quantum dots

著者	Nishibayashi Kazuhiro
内容記述	Thesis (Ph. D. in Science)--University of Tsukuba, (B), no. 2008, 2004.3.25 Includes bibliographical references
発行年	2004
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2241/5678">http://hdl.handle.net/2241/5678</a>

氏名(本籍)	にし ばやし かず ひろ 西林一彦(岡山県)		
学位の種類	博士(理学)		
学位記番号	博乙第2008号		
学位授与年月日	平成16年3月25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	Electronic states and their spin structures of strain-induced GaAs quantum dots (歪誘起 GaAs 量子ドットの電子状態とそのスピン構造)		
主査	筑波大学教授	理学博士	舛本泰章
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	森岡弓男
副査	筑波大学助教授	理学博士	野村晋太郎

### 論文の内容の要旨

GaAs 歪誘起量子点は、半導体表面に形成された自己形成型量子点からの歪により、表面近傍に成長させた GaAs 量子井戸のポテンシャルが変調を受けることで形成され新しい三次元閉じ込め系である。歪誘起量子点のエネルギーポテンシャルは量子井戸の面内方向に対して放物線状であり、二次元調和振動子モデルが適用され、第  $n$  量子状態の縮重度は  $2n$  であると予想される。

論文の前半の部分では GaAs 量子点からの発光成分のうち、二本の励起光に掛けた変調の周波数の和周波数成分を検出することで発光強度の二乗に比例する成分を選択的に抽出する非線形発光を用いた研究について記述したものである。励起強度が弱いときに第  $n$  量子状態からの発光の非線形成分は非線形的な立ち上がり意味着正の値を示し、励起強度が増加するにともなって減少してゼロになり、さらに発光強度の飽和を意味する負の値を示した。また、各エネルギー準位からの発光の非線形成分は低エネルギー側から順に正から負へと符号を変えた。このような GaAs 量子点における発光の非線形成分の振る舞いを説明するために、GaAs 量子井戸からのキャリアの流れ込み、エネルギー準位間でのキャリア緩和および再結合、そして各エネルギー準位のキャリアの占有率をとり入れた量子点に閉じ込められたキャリアのレート方程式を立ててシミュレーションを行い、実験結果をよく再現する結果が得られた。これから、GaAs 量子点からの発光の非線形成分は GaAs 量子点の第  $n$  量子準位の縮重度  $2n$  を反映しているということが明らかにされ、量子点に閉じ込められたキャリアの緩和時間が  $30\text{ps}$  と見積もられた。

論文の後半の部分では (1) GaAs 量子点の発光の円偏光励起スペクトルの測定、(2) GaAs 量子点の磁場中における発光の時間分解測定による量子ビートの研究について記述したものである。GaAs 量子点中の励起子が磁場によってわずかにゼーマン分裂を起こした二つの準位をピコ秒レーザーが同時に励起することで二つの光学遷移双極子同士が干渉しあう量子ビートが見い出された。更に磁場と試料の結晶成長方向とがなす角度  $\theta$  と振動周期の関係を求めることにより、励起子の  $g$  因子の異方性を反映して角度  $\theta$  が大きくなるに従って振動周期が大きくなるということが明らかにされた。磁場とゼーマン分裂の大きさの比例関係から電子と正孔  $g$  因子の和が  $0.51$  と求まった。

電子の  $g$  因子を求めるために、フォークト配置で円偏光ピコ秒励起を用い、発光の円偏光成分を時間分解測定し、電子スピンのラーモア歳差運動することによる量子ビートを観測した。ビートの振動間隔から求めたスピン分裂量は磁場の強度に対して比例関係を示し、これから電子の  $g$  因子が 0.17 と見積もられた。また正孔の  $g$  因子が 0.34 と求められた。フォークト配置におけるスピンの起因するエネルギー分裂量と結晶方位と磁場のなす角度の関係から、電子の  $g$  因子の値が歪誘起量子点構造の方向に依存しないという注目すべき結果が得られた。これらファラデー配置とフォークト配置での実験結果から得られた結果を解釈するために、スピンハミルトニアンを用いた解析を行い、磁場下の GaAs 量子ドット中の励起子のエネルギー微細構造が明らかにされた。歪誘起量子点の電子の  $g$  因子が等方的であるという実験結果は歪によって量子井戸のエネルギーポテンシャルが変調を受けて歪誘起量子点を形成するとき、重い正孔と軽い正孔が重なり合ったためと推論された。

### 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は歪によって GaAs 量子井戸内に形成された歪誘起 GaAs 量子点における発光スペクトルおよび非線形発光スペクトルの励起強度依存性を調べることで、その量子状態を解明し、磁場中における発光の時間分解分光測定を行うことで2種類の量子ビートを観測し、歪誘起 GaAs 量子点のスピンの依存したエネルギー微細構造を詳しく調べたものである。

非線形発光と量子ビートという二種類の高度な分光手法を使用して歪誘起 GaAs 量子点の光学的性質を明らかにした点は高く評価できる。

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。