



|              |                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title        | Study on Electronic States in Asymmetric Double-Quantum-Well Structures                                                                                                                                                                                              |
| Author(s)    | 馮, 潔明                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Citation     | 大阪大学, 1998, 博士論文                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Version Type |                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/40558">https://hdl.handle.net/11094/40558</a>                                                                                                                                                                                  |
| rights       |                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Note         | 著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">＜a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"&gt;https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> >大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。 |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

|               |                                                                                                              |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 氏 名           | ひょう 馮 けつ 潔 めい 明                                                                                              |
| 博士の専攻分野の名称    | 博 士 (工 学)                                                                                                    |
| 学 位 記 番 号     | 第 1 3 8 3 7 号                                                                                                |
| 学 位 授 与 年 月 日 | 平成10年 3 月 25 日                                                                                               |
| 学 位 授 与 の 要 件 | 学位規則第4条第1項該当<br>工学研究科電子工学専攻                                                                                  |
| 学 位 論 文 名     | Study on Electronic States in Asymmetric Double-Quantum-Well Structures<br>(非対称二重量子井戸における電子状態に関する研究)         |
| 論 文 審 査 委 員   | (主査)<br>教 授 濱 口 智 尋<br><br>(副査)<br>教 授 吉 野 勝 美    教 授 尾 浦 憲 治 郎    教 授 西 原   浩<br>教 授 森 田 清 三    教 授 谷 口 研 二 |

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は非対称二重量子井戸における電子状態に関する研究の成果をまとめたもので、以下の6章により構成されている。

第1章では、結合量子井戸構造に関する研究の背景と発展について述べ、本研究の目的と位置付けを明確に示している。

第2章では、初めに、2次元電子ガスの状態を解析する方法として、Schrödinger 方程式と Poission 方程式とを値が収束するまで繰り返し解く自己無撞着計算法を用いて、井戸内における電子の波動関数およびサブバンドレベルを求めている。つぎに、測定に用いた試料構造について述べている。試料は分子線エピタキシャル成長法 (NBE 法) で、作製した GaAs/Al<sub>0.36</sub>Ga<sub>0.64</sub>As 非対称二重量子井戸構造は、幅 8 nm の狭い GaAs 井戸層と幅 14 nm の広い GaAs 井戸層が幅 5 nm の Al<sub>0.36</sub>Ga<sub>0.64</sub>As の障壁層によって結ばれている。試料表面に Al のショットキー電極を設け、外部電界の印加を可能にしている。広い電界範囲における測定結果を得るため、表面側に狭い井戸層を持つ試料 (Sample 1) と基板側に狭い井戸層を持つ試料 (Sample 2) の2種類の試料を作製している。最後に、作製した試料を 77 K でフォトルミネッセンス (PL) 法を用いて評価した結果について述べる。PL スペクトルには広い井戸に起因する発光と狭い井戸に起因する発光との2種類の発光を見出している。

第3章では、エレクトロリフレクタンス法による実験原理とその条件を示している。低電界変調分光理論である Aspnes の3次微分公式を説明し、Aspnes の理論式を用いて、ER スペクトルに対して臨界点の形状やエネルギー値を求めている。臨界点の遷移エネルギーは理論計算による計算結果と良い一致を示している。

第4章では、非対称二重量子井戸における電子のトンネル効果、特に、外部印加電界の依存性を中心に、その背景と争論を述べている。その中でフォノンを介したトンネル過程に重点を置いて述べている。時間分解フォトルミネッセンスの測定系と実験条件を示している。実験結果に対して、ER の結果と計算結果とを考慮することで、さらに、詳しく分析を行っている。PL 測定において、ある印加電圧時、狭い井戸と広い井戸からの強度比が急に変化する現象を観測しているが、その原因は共鳴光学フォノン散乱により電子が井戸間をトンネルすることによることを示している。また、PL スペクトルの強度変化が起こる電圧付近において、井戸からの緩和時間が極小となる現象も観測している。

第5章では、10.6 μm CO<sub>2</sub> レーザを非対称二重量子井戸構造に照射することによる、電子の加熱とホットエレクト

トロン緩和過程を調べている。初めに、非対称二重量子井戸構造を用いて、フォトルミネッセンスの温度依存性とCO<sub>2</sub>レーザパワー依存性を測定している。10 Kで規格化した狭い井戸の発光強度により電子温度のCO<sub>2</sub>パワーの依存性を見積もっている。その結果を、単純化したモデルを用いて解析した結果、電子温度が低いときは、電子はプラズモンと光学フォノンの結合したモードにエネルギーを放出することを見出している。

最後に、第6章において本論文のまとめを述べている。

## 論文審査の結果の要旨

結合量子井戸構造は、従来型デバイスの性能向上のみならず、その限界を打ち破る次世代のデバイス、あるいは、従来のデバイスにはない新しい機能を持つデバイスの構成要素として期待されている。そのためには、結合量子井戸構造における光学的あるいは電気的特性を十分に把握しておかなければならない。しかしながら、それらの特性についてまだ解明されていない部分が多く存在する。その問題の二つとして挙げられるのが、非対称二重量子井戸に電界を印加した場合に生じる電子のトンネリング効果、または、赤外線を照射した場合に生じるホットエレクトロン効果に関してである。本論文では、このような背景に基づいて、二種類の非対称二重量子井戸構造について光学実験を行い、その実験結果を理論計算により解析検討し、非対称二重量子井戸における電子状態、特に、電子のトンネリング効果とホットエレクトロン効果を解明しているもので、この研究の内容には新しい知見が含まれている。その主要な点は次の通りである。

- (1)低電界変調分光法（エレクトロリフレクタンス法）を用いた実験により多くの光学遷移の量子閉じ込めシュタルク準位を観測することに成功している。臨界点の遷移エネルギーは計算結果と比べることにより広い井戸と狭い井戸の基底状態と励起状態からの遷移を解明している。また、正確に内部電位を見積もることが可能であることを指摘している。
- (2)CW フォトルミネッセンスを用いた実験によりPLの強度が急に変化する現象を観測することに成功している。ERの実験結果および計算結果と比べることによりこの現象は共鳴光学フォノン散乱により電子が井戸間をトンネリングすることにより起こることを指摘している。
- (3)時間分解フォトルミネッセンスを用いた実験によりPLの強度変化が起こる電圧付近において電子の緩和時間が極小となることを観測することに成功している。また、光励起した電子を速く逃すためには、共鳴的な光学フォノン散乱が起こるだけでなく、その終状態へ遷移した電子が逃げるパスも用意する必要があることを指摘している。
- (4)赤外線を照射するときPLの強度が減少すること、および、発光のピークエネルギーがシフトしないことを観測することに成功している。電子温度が赤外線照射することにより上がることを指摘している。
- (5)単純化したモデルを用いて解析した結果により電子温度が低いときは、電子はプラズモンと光学フォノンの結合したモードにエネルギーを放出することを指摘している。

以上のように、本論文は非対称二重量子井戸における電子状態について、特に、電子のトンネリング効果とホットエレクトロン効果に関して有益な知見を得ており、電子工学ならびに半導体工学の分野に貢献するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。