



Title	半導体量子構造における電子輸送現象とデバイスシミュレーションに関する研究
Author(s)	上野, 弘明
Citation	大阪大学, 1999, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/41463
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、 https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed 大阪大学の博士論文について

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏 名	上 野 弘 明
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 4 6 9 5 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 工学研究科電子工学専攻
学 位 論 文 名	半導体量子構造における電子輸送現象とデバイスシミュレーションに関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 濱口 智尋
	(副査) 教 授 吉野 勝美 教 授 尾浦憲治郎 教 授 西原 浩 教 授 森田 清三 教 授 福西 宏有 教 授 谷口 研二 教 授 溝口理一郎

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、半導体量子構造における電子輸送現象とデバイスシミュレーションに関する研究をまとめたものであり、全体で 7 章から構成されている。

第 1 章では、本研究の背景および目的について示している。

第 2 章では、本研究において用いられる、ヘテロ接合を利用した半導体量子構造およびその電子状態について述べている。

第 3 章では、GaAs/AlGaAs 単一ヘテロ接合部分における、2 次元電子ガスの自己無撞着法を用いた状態解析の結果とその散乱機構について述べている。状態解析の結果、面電子密度が高くなるとサブバンド準位が上昇し、また、電子分布はヘテロ界面に近付き、より強く閉じ込められることを明らかにしている。更に、エネルギーバンドの非放物線性を考慮した場合、界面に平行な方向の運動エネルギーが大きくなると、より強く閉じ込められることを明らかにしている。

第 4 章では、2 次元量子化を考慮した HEMT のデバイスシミュレーションを行った結果について述べている。チャネル部分の 2 次元量子化に加えて、GaAs/AlGaAs ヘテロ接合において重要な実空間遷移をとり入れたモデルを提案し、シミュレーションを行っている。その結果、ドレイン電圧を高くしていくと、バレー間遷移する電子が増加し、ドレイン電圧の増加にもかかわらず、ドレイン近傍の電子のドリフト速度が低下していくことを指摘している。また同時に、GaAs 層から AlGaAs 層へと実空間遷移する電子が増加し、ドリフト速度が低下することを指摘している。また、その影響について定量的に見積もっている。

第 5 章では、GaAs/Al_{0.3}Ga_{0.7}As 単一量子井戸構造を持つ基板上に、量子ドットを横方向に配列した構造を、電子ビーム露光法とケミカルウェットエッチング法を用いて作製する方法について説明している。

第 6 章では、作製した量子ドット配列構造における電気伝導特性の測定結果と、その解析について述べている。量子ドット配列構造の電気伝導特性の測定は液体 He 温度において LED を照射しながら行っている。その結果、量子ドットを一直線上に配列した構造とジグザグに配列した構造とでは特性に違いが現れることを明らかにしている。また、電子波伝搬のシミュレーションを行い、この特性の違いが量子ドット配列構造の幾何学的形状の違いに起因すると考えられることを示し、電子波の広がり方が印加電圧に依存することを指摘している。

最後に、第 7 章で本研究による成果をまとめ、結論としている。

論文審査の結果の要旨

半導体ヘテロ接合を用いたFETである高電子移動度トランジスタ(HEMT)は、現在衛星通信に欠かせない素子であり、LSIや他の高周波デバイスへの応用が期待されている。そのため、HEMTにおける電子輸送現象の解析を行うことは非常に重要である。また、半導体ヘテロ接合を用いた量子ドット構造は、将来の電子デバイスへの応用が期待されている。この量子ドット構造をデバイスに応用するためには、量子ドットのネットワーク構造における電気伝導特性を知ることが必要となる。本論文の前半部分では、HEMTにおいて、チャネル部分の電子の2次元量子化と実空間遷移とを採り入れた新しいデバイスシミュレーションモデルを提案し、そのシミュレーション結果についてまとめている。また後半部分では、量子ドットを横方向に配列した構造を作製し、その電気伝導特性の測定および解析を行った結果についてまとめており、重要で新しい知見を得ている。

HEMTのデバイスシミュレーション結果により、以下のことが明らかになっている。

- (1) チャネル長 $0.5\mu\text{m}$ 、ゲート長 $0.3\mu\text{m}$ のHEMTにおいて、ドレイン電圧が低い場合は、チャネル内での電子のドリフト速度は位置によってあまり変化しないが、ドレイン電圧を高くしていくとドレイン近傍にドリフト速度のピークが生じることを明らかにしている。
- (2) ドレイン電圧を高くしていくと、有効質量の軽いΓバレーから、有効質量の重いLおよびXバレーへと遷移する電子が増える。その結果、ドレイン電圧の増加にかかわらず、ドレイン近傍におけるドリフト速度が低下していくことを指摘している。
- (3) また、ドレイン電圧を高くしていくと、GaAs層からAlGaAs層へと実空間遷移を起こす電子が増える。その結果、特にドレイン近傍においてドリフト速度が低下することを指摘している。更に、その影響について定量的に見積もっている。

量子ドット配列構造の電気伝導特性の評価により、以下のことが明らかになっている。

- (1) 電流電圧特性の測定により、一直線上に配列した量子ドット配列構造では、微分コンダクタンスのピークが0V付近に1つだけ存在し、ジグザグに配列した量子ドット配列構造では、微分コンダクタンスのピークが2つ存在することを明らかにしている。
- (2) 電子波伝搬のシミュレーションにより、低バイアス状態では、量子ドット内に入射する電子波は直進性を持ち、高バイアス状態では、量子ドット内に入射する電子波はある角度を持って広がっていくことを指摘している。
- (3) 量子ドット内に入射する電子波の広がりは印加電圧に依存し、印加電圧が増加するに従って、電子波はより広く広がるようになることを指摘している。

以上のように、本論文は半導体量子構造を用いたデバイスであるHEMTおよび量子ドット配列構造における電子輸送現象について価値ある知見を得ており、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。