Osaka University Knowledge Archive

Title	Theoretical Study of Electron Transport in Nanometer-scale Compound Semiconductor Devices
Author(s)	水田, 博
Citation	大阪大学, 1993, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3070508
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

【 48 】

氏　　名	水　田　　博（みず　た　ひろし）
博士の専攻分野の名称	博　士（工　学）
学 位 記 番 号	第　10898　号
学位授与年月日	平成 5 年 7 月 26 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学 位 論 文 名	Theoretical Study of Electron Transport in Nanometer-scale Compound Semiconductor Devices **（ナノメータスケール化合物半導体素子における電子輸送の理論的研究）**
論 文 審 査 委 員	（主査） 教 授　濱口　智尋 教 授　吉野　勝美　　教 授　尾浦憲治郎

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は，極微細化合物半導体素子における電子輸送に関する研究の成果をまとめたもので，6章より構成されている。

第1章では，ナノメータスケール化合物半導体素子に関する研究の歴史的背景と，その輸送理論及びシミュレーション技術の発展を概説し，本論文の背景と目的を述べている。

第2章では，高電子移動度トランジスタ（HEMT）やヘテロ接合バイポーラトランジスタ（HBT）などディープサブミクロン素子に対する拡張ドリフト拡散型輸送理論について述べ，EL2，DX センター，表面準位などの深いキャリア捕獲準位が引き起こすフェルミレベルピンニングとそれによる HEMT の伝達特性の低下および短チャネル効果への影響，更に表面再結合による HBT の電流利得の減少を明らかにしている。

第3章では，半導体超格子を用いた共鳴トンネリング素子（RTD）に対し，トランスファー行列（Transfer matrix)法と Tsu-Esaki 公式に基づく自己無撞着なコヒーレントトンネリング理論を導入し，実験とシミュレーション結果の比較から，本理論の妥当性と LO フォノン散乱などの位相コヒーレンス破壊過程の影響を明らかにしている。また，新たに AlGaAs/GaAs 3 重量子井戸構造および InAlAa/InGaAa 2 重量子井戸構造を提案試作し，その3値安定特性を検証している。

第4章では，密度行列とウィグナー分布関数を導入し，その時間依存型リウビル方程式の数値解析により，RTD における電子のフェムト秒ダイナミクスと散逸過程による非平衡分布を解析している。その結果，1）RTD 内プラズマ振動の存在，2）井戸内の電子とエミッタ／コレクタ層内電子間の位相相関の存在，3）散乱の位相コヒーレンス破壊時間とピーク／バレイ電流比の関係，および4）井戸内の電子蓄積による電流の真性2重安定性の存在を明らかにしている。

第5章では，0次元共鳴トンネリング素子（0D-RTD）に対して，3次元散乱行列理論と Landauer-Buttiker 公式を導入し，不均一量子閉じ込めポテンシャルに起因するモード間のミキシングが，モード保存型と非保存型共鳴トンネリングの混在する電流微細構造を生じていることを見い出している。また，均一量子閉じ込めを実現する3端子

型0D-RTDを考案し，ドット内0次元準位を直接反映する明瞭な微小ピークを観測している。更に，量子ドット内の少数イオン化不純物に起因する微細構造を観測し，これを理論的に検証している。

第8章では，本論文を総括して，ナノメータ領域の化合物半導体素子において明らかにされた輸送現象のまとめを行ない，用いた古典論的及び量子論的輸送理論の妥当性と問題点を明らかにしている。

論文審査の結果の要旨

本論文は，ナノメータ領域の化合物半導体デバイスに対する電子輸送理論及びシミュレーション技術の基礎を確立するとともに，それを用いて，ディープサブミクロンヘテロ接合デバイスにおける深い準位のキャリア捕獲過程や，共鳴トンネリングダイオード（RTD）におけるコヒーレント，インコヒーレント電子波輸送現象を明らかにすることを目的としたもので，主な成果をあげると以下の通りである。

(1) SRH（Shockley-Reed-Hall）モデルを導入した拡張ドリフト拡散輸送理論を用い，EL2，DXセンタ，表面準位によるフェルミレベルピンニングとそれによるHEMT伝達特性の低下と短チャネル効果への影響を明らかにしている。

(2) Transfer Matrix法に基づく量子輸送理論を用い，RTDにおけるコヒーレント輸送とフォノン散乱によるコヒーレンス破壊の影響を明らかにすると共に，新しい多重量子井戸構造RTDを試作し，その多値安定特性を検証している。

(3) 密度行列方程式に基づく新しい量子輸送シミュレーションを開発し，RTDにおける電子のフェムト秒ダイナミクスと，井戸内電子蓄積に起因する電流の真性2重安定性の存在を明らかにしている。また，散逸過程による非平衡電子分布の変化と，P/V電流比の低下とその相関関係を見い出している。

(4) 3次元散乱行列理論に基づく量子ドット素子のシミュレーションと，新しい3端子型0次元RTDを開発し，不均一量子閉じ込めに起因する電子波モードのミキシングと，井戸内単一不純物散乱がトンネリングのスペクトルに微細構造を生ずることを明らかにしている。

以上のように本論文は，ナノメータ化合物半導体素子に対する電子輸送理論とシミュレーション技術の確立，および量子輸送現象の解明とデバイス応用の可能性を明らかにしており，その成果は半導体工学の基礎研究に大きな寄与をし，電子工学発展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。