



Title	非平衡グリーン関数法を用いた極微細デバイスの量子輸送解析に関する研究
Author(s)	竹田, 裕
Citation	大阪大学, 2005, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/45853
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、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏 名	たけ だ ひろし 竹 田 裕
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 9 5 2 3 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 17 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	非平衡グリーン関数法を用いた極微細デバイスの量子輸送解析に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 吉野 勝美 (副査) 教 授 谷口 研二 教 授 尾浦憲治郎 教 授 森田 清三 教 授 栖原 敏明 教 授 八木 哲也 助教授 森 伸也

論 文 内 容 の 要 旨

ナノスケールの半導体デバイスでは、量子力学的効果がデバイス特性に強く影響する。極微細デバイスの作製は容易でないため、今後の極微細デバイス開発には量子力学的効果を取り入れたデバイスシミュレーションの重要性が高まる。本研究では非平衡グリーン関数法 (NEGF 法) を用いて量子輸送デバイスシミュレータを開発し、極微細デバイスの量子輸送解析を行った。

本論文は全 6 章により構成されている。以下に各章ごとの要旨をまとめる。

第 1 章では本研究の研究背景・目的について述べた。

第 2 章では NEGF 法の基本的な式を導出し、電極やフォノン散乱の取り扱い、また物理量の計算方法について説明を行った。

第 3 章では、バルク MOSFET をはじめとした平面構造デバイスに対する 2 次元 NEGF 法シミュレーションの手法について述べた。本研究では、実空間を基底とする方法と閉じ込め固有モードを基底とする方法とを取り扱った。単純な構造のデバイスに対する計算結果から、極微細デバイスでは固有モードを基底とする方法により、精度よく効率的な計算が可能であることを確認した。また、デバイス中の波動関数の形状変化が緩やかな場合には、固有モード結合を近似的に取り扱えることを明らかにした。

第 4 章では、実際の極微細バルク MOSFET を用いて実験結果との比較を行った。その結果より、本研究のシミュレータの妥当性を確認した。次に、フォノン散乱のデバイス特性への影響について調べた。フォノン散乱は物理モデルに基づいて取り入れた。その結果、極微細デバイスでは、デバイスのオン状態ではフォノン散乱により電流が減少するが、オフ状態ではフォノン吸収過程を介したトンネル電流の増加により電流の減少が抑制されることを明らかにした。更に、バルク MOSFET のオン状態に対しては、固有モード結合を近似的に取り扱えることを示した。

第 5 章では、新構造デバイスとして期待の高い立体構造デバイスに対する 3 次元 NEGF 法シミュレーションを行った。立体構造デバイスの一種である FinFET に対するシミュレーションの結果、極微細 FinFET が良好なデバイス特性を示すことが分かった。また、極微細 FinFET では、バルク MOSFET の場合と同様に、フォノン散乱がオン電流に対して強く影響することを明らかにした。更に、極微細 FinFET では酸化膜界面の凹凸の影響により、オン電流・

オフ電流とともに電流値が減少することを明らかにした。また、界面凹凸分布を変化させてシミュレーションを行った結果、凹凸分布の違いにより閾値電圧が大きくばらつくことを示した。

第6章では、本論文を通して得られた結果をまとめた。

論文審査の結果の要旨

次世代半導体デバイス開発のためには、ナノメートルスケールの極微細デバイスの量子輸送現象を解明することが極めて重要であるが、そのため本論文では非平衡グリーン関数法によるデバイスシミュレータの開発および極微細 MOS トランジスタの量子輸送解析を行っており、得られた成果を要約すると次の通りである。

- (1) 微細デバイス中の輸送現象は量子力学的効果の影響を強く受けるため、量子輸送解析手法の1つである非平衡グリーン関数法が有効であり、その際、シミュレーション時間を削減するために、MOS トランジスタの輸送方向と垂直な方向について固有モード基底を用いることにより計算量の大幅な削減に成功している。
- (2) 開発した2次元デバイスシミュレータをゲート長 5 nm の極微細バルク型 MOSFET に適用し、インバースモデリングを行った結果、報告されている実験結果と広範な条件において良い一致を得ている。これにより、シミュレータの十分な妥当性・実用性を確認している。
- (3) フォノン散乱を物理モデルに基づいて取り入れ、電流-電圧特性のシミュレーションを行い、トランジスタのオフ状態ではフォノン散乱によって単純に電流が減少しないことを見出している。そして、輸送現象の詳細な解析の結果、この現象がフォノンエネルギーの吸収によるトンネル電流の増加によるものであることを明らかにしている。
- (4) 立体構造デバイスに対応した3次元量子輸送デバイスシミュレータを開発し、次世代新構造デバイスとして期待の高い FinFET に対して適用している。シミュレーションにはフォノン散乱および界面凹凸散乱を物理モデルに基づいて取り入れている。個々のデバイスごとに異なる凹凸分布に起因したデバイス特性のばらつきがあり、デバイスの閾値電圧が大きく変動すること、またその変動が極微細なデバイス開発においては致命的になることを示している。

以上のように、本論文は非平衡グリーン関数法による量子輸送デバイスシミュレーションについて詳細な研究を進め、開発したシミュレータが実用に耐えうるものであることを実証しており、今後の極微細半導体デバイス開発への貢献が期待される。また、極微細デバイスにおけるフォノン散乱や界面凹凸散乱の輸送特性への影響を解明したことも高く評価でき、電子工学に寄与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。