

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 11216 号
------	---------------

氏 名 程 賀

論 文 題 目

円筒形全周ゲートMOSFETにおける弾道・準弾道輸送解析モデリングに関する研究

(Study on Analytic Compact Model of Ballistic and Quasi-ballistic Transport for Cylindrical Gate-All-Around MOSFET)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	中里 和郎
委員	産業技術総合研究所	研究員	福田 浩一
委員	名古屋大学	教授	宮崎 誠一
委員	立命館大学	教授	宇野 重康
委員	名古屋大学	講師	新津 葵一

論文審査の結果の要旨

程賀君提出の論文「円筒形全周ゲートMOSFETにおける弾道・準弾道輸送解析モデリングに関する研究」は、半導体集積回路の次世代トランジスタとして有望視されている極短チャネルGate-all-around MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor, 金属-酸化膜-半導体電界効果型トランジスタ) の電気特性を第1原理から解析し、回路シミュレーションに用いることのできる完全かつ明示的な解析モデルを構築したものであり、以下の6章より構成されている。

第1章は序論であり、集積回路で用いられているトランジスタの歴史を述べ、デバイスの微細化に伴ってゲートによりチャネルを制御することが困難になることから、断面がナノサイズの円筒形シリコン基板側面すべてにゲート電極を設けた円筒形全周ゲートMOSFETが次世代のトランジスタとして必然とされる理由を説明した後、先行研究を整理し、本研究の目的と新規性を明確にしている。

第2章では、電子の弾道輸送および準弾道輸送を考えたとき、電子デバイス内を電流がどのように流れるかを Landauerの手法に基づいて導出している。トランジスタのチャネル長の縮小に伴って弾道輸送がメインの伝導機構となる。Landauerの手法のMOSFETへの適用は名取の手法と呼ばれ、これを適用することにより、円筒形全周ゲートMOSFETの電流電圧特性を定式化し、トンネル電流を取り込む拡張について述べている。

第3章では、ナノワイヤ中央のポテンシャルの高さをパラメータとして量子輸送に基づいて円筒形全周ゲートMOSFETの特性を表し、ゲート電荷とチャネル電荷の釣り合いから、ナノワイヤ中央のポテンシャルの高さを自己撞着的に求める手法により、電流コンパクトモデルを構築している。

第4章では、第3章で述べた電流コンパクトモデルに対し、(1)チャネルにおける電子の量子状態に関する複数のサブバンドの効果、(2)ドレイン空乏層によるチャネルにおけるエネルギー障壁低下効果 (Drain-Induced-BARRIER Lowering : DIBL)、(3)チャネルでのソースからドレインへのトンネル効果、を取り入れ、得られた電流電圧特性が厳密に数値計算した結果と非常に良い一致を得たことから、提案した手法の有効性を示している。

第5章では、導出した解析モデルをアナログ回路に関するモデリング記述標準言語であるVerilog-Aを用いて記述し、回路シミュレータSPICE (Simulation Program with Integrated-Circuit Emphasis)への組み込みを行い、円筒形全周ゲートMOSFETにより構成される大規模CMOS集積回路のシミュレーションが充分な速度・精度で行えることを示している。

第6章では、本論文を要約するとともに、残された課題について論じている。

以上のように本論文は、円筒形全周MOSFET構造において、断面内で量子閉じ込め効果を受けつつ軸方向に弾道・準弾道輸送現象を示す系の複雑な数式を応用数学的アプローチにより解析的に近似した手法を示しており、学術上重要な知見を与えるものである。また、円筒形全周MOSFETは近い将来に最も一般的なMOSFET構造となることが期待されており、そこでの輸送現象の解明と回路シミュレーション用モデルの開発は工業上寄与するところが大きい。よって本論文提出者程賀君は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格があるものと判定した。