

審査結果の要旨

氏名 間島 秀明

本論文は、「Quantum Mechanical Narrow Channel Effects in Nano-Scale MOSFETs」(和訳: ナノスケール MOSFET における量子力学的狭チャネル効果の研究)と題し、英文で書かれている。本論文は、チャネル幅の狭いナノスケールシリコン MOSFET において現れる量子力学的効果を初めて明らかにし、その有用性について述べたものであり、全 6 章より構成される。

第 1 章は「Introduction」(序論)であり、MOSFET が微細化される理由と、ナノスケールまで微細化された場合に起こる量子効果についてまとめており、本論文の背景と目的を明確にしている。

第 2 章は、「Quantum Confinement in MOSFETs」(MOSFET における量子閉じこめ)と題し、ナノスケールに微細化されたシリコン MOSFET において量子効果が現れる理由と、量子効果が MOSFET の特性に及ぼす影響についてレビューしている。

第 3 章は、「Threshold Voltage Increase in n-type MOSFETs」(n 型 MOSFET におけるしきい値電圧の上昇)と題し、ナノスケール狭チャネル nMOSFET における量子力学的効果によるしきい値電圧上昇について述べている。電子ビームリソグラフィとドライエッチング法により、チャネル幅が 10nm 以下という極めて細い MOSFET の作製に成功し、室温での特性評価の結果、チャネル幅が狭くなるに従い、しきい値電圧が上昇することを見いだした。狭チャネル中での量子閉じこめ効果を考慮したシミュレーション結果と測定結果が一致することから、このしきい値電圧の上昇は量子力学的効果であることを世界で初めて明らかにした。この効果を本論文では「量子力学的狭チャネル効果」と命名した。

第 4 章は、「Threshold Voltage Adjustment in n- and p-type MOSFETs」(n 型および p 型 MOSFET におけるしきい値電圧の調整)と題し、量子力学的狭チャネル効果を利用したしきい値電圧の調整法について述べている。1 つのデバイスで n 型および p 型の両方で動作可能な特殊な MOSFET を作製し、チャネル方向も通常の<110>方向と、45 度回転させた<100>方向の MOSFET を試作した。これにより、量子力学狭チャネル効果の極性依存性とチャネル方向依存性を評価した。その結果、PMOS でもしきい値電圧が量子効果により上昇することを示した。この量子力学的効果を積極的に利用して、将来困難になると予想されている微細 MOSFET のしきい値電圧調整を行う新しい手法を提案した。量子効果を考慮したシミュレーションによれば、チャネル方向、チャネル幅、チャネル高さに依存して、NMOS および PMOS のしきい値電圧をそれぞれ制御することができる。これは量子力学的狭チャネル効果の具体的な応用例の一つである。

第 5 章は、「Impact of Quantum Effects on Carrier Mobility」(量子効果による移動度への影響)と題し、狭チャネル MOSFET の量子効果が移動度に与える影響について述べている。室温で支配的となる音響フォノン散乱を考慮して、狭チャネル MOSFET の移動度のチャネル幅依存性とチャネル方向依存性の計算を行った。その結果、電子、正孔ともに、<100>方向の方が、通常用いられている<110>方向より移動度が高くなることを明らかにした。シリコンバンド構造における各谷の移動度と電子占有率から、<100>方向で移動度が高くなる理由を明らかにした。この移動度上昇も、量子力学的狭チャネル効果の応用例であり、この量子効果の積極利用が将来のデバイス性能向上に極めて重要であることを示した。

第 6 章は「Conclusions」(結論)であり、本論文の結論を述べている。

以上のように本論文は、ナノスケール狭チャネルシリコン MOSFET において発現する量子力学的狭チャネル効果を初めて明らかにし、その物理的起源を示すとともに、量子力学的狭チャネル効果によりしきい値電圧調整および移動度向上が可能となることを実証したものであって、電子工学上寄与するところが少なくない。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。