



Study on High-Frequency Response of Single-Electron Transistors

著者	Singh Alka
year	2022-06
出版者	Shizuoka University
URL	http://doi.org/10.14945/00029207

本論文は、単電子トランジスタ (SET) の高周波応答の理解を目的として、時間に依存したマスター方程式によるシミュレーションと、実際のデバイスによる測定により検討した結果をまとめている。

第1章では、SET の高周波動作に関わる研究の背景について述べている。近年の微細加工技術の進展により内部の容量をアト・ファラッド (aF) 台に減らすことが可能となった結果、既存のトランジスタでは不可能な高周波での動作が期待できると共に、室温に近い高温でも動作できるようになった。加えて、ドレインの電圧・電流特性の非線形性に基づく整流作用においては、内部の容量と抵抗で定まる遮断周波数 f_c を超える高周波でも作用が持続することが報告されており、高周波応答に対するより深い理解が必要になっている。

第2章では、時間に依存したマスター方程式に基づいた、ゲート電流を計算することで端子容量や端子間の相互容量も考慮に入れた SET モデルと、モデルを利用したシミュレーション結果について説明している。SET 整流作用の周波数特性を解析したところ、整流電流は f_c 付近で一旦低下するものの、低下し続けることはなく整流作用が高周波まで持続することが再現できた。 f_c を超えるとクーロン島の電子数はドレイン電圧の変化に追従できなくなるものの、トンネル・レートの電圧依存性が残るため整流作用が持続することが分かった。ゲート入力容量、ドレイン・ゲート間容量、ソース・ゲート間容量のバイアス電圧依存性、温度依存性、周波数依存性も定量的に把握することができた。トランジスタ作用が消滅する高周波では、受動的なキャパシタ回路として容量値が理解できることも分かった。

第3章では、シミュレーションで予測された整流作用を確認するために、パタン依存酸化法で作製した SET と高濃度に不純物添加した Si ナノワイヤから成る SET の、整流電流周波数依存性を評価した結果を示している。前者では寄生 MOSFET によるローパス・フィルタの f_c が SET 自体の f_c を下回るため、予測の確認は困難であった。後者では、リード線部分のシート抵抗が小さく寄生ローパス・フィルタの f_c は十分に高かったが、低い周波数における不測の整流電流低下が観測された。考慮していない寄生素子の影響や、SET 特性の不安定性について、さらなる検討が必要である。

第4章では、得られた成果を総括し、提案した SET モデルが SET を含む回路による増幅、発振、信号検出、ゲート経由の量子ビット状態読み出し等の高周波応答解析に幅広く利用可能であることを述べている。

以上のように、本論文は SET 高周波応答の解析について有用な知見を与えており、博士 (工学) の学位論文としてふさわしいものと認められる。