

論文の内容の要旨

論文題目	Power gain mechanism and methods for power gain improvement of quantum and conventional transistors (量子効果デバイスならびにトランジスタにおける電力利得発生メカニズムの解明および改善)
学位 申請者	LUONG DUY MANH

量子効果トランジスタの中での代表格である単電子トランジスタ (SET) を信号源有能電力とインピーダンス整合負荷電力の比から定義される電力利得の視点でモデリングし、構造パラメータとの関連を明らかにしている。さらに、電力利得と並んで SET の動作速度に大きな影響を与える電力利得の周波数特性についても解析している。この結果、SET の電力利得は、SET のソース接合厚を 1.25nm まで薄くするなどデバイス構造を最適化すると 40dB 程度改善されることを示している。また周波数特性は THz 領域まで伸びていることを解析的に示している。さらに、電力利得向上の知見を従来型デバイスである InGaP/GaAs ヘテロ接合バイポーラトランジスタ (HBT) ならびに AlGaIn/GaN 高電子移動度トランジスタ (HEMT) にも適用し、これらの電力利得を複数トランジスタの回路的結合の視点で改善する方法を検討している。特に電力利得とひずみ特性などの大信号特性との両立に対して優れていると考えられる 3 トランジスタのスタック構造から構成される独立バイアス型 3 段カスコード回路と従来型 3 段カスコード回路との利害得失を検討している。独立バイアス型 HBT カスコード回路では 1.9GHz において 5dB 以上の電力利得改善が従来型に対して実験的に示され、試作された HBT 増幅器では電力利得 32.6dB、出力 12dBm 時に付加電力効率 23.5%、3 次相互変調ひずみ比 -35dBc が得られた。GaN HEMT 増幅器では電力利得 24.0 dB、出力 28.8dBm 時に付加電力効率 46.5%、3 次相互変調ひずみ比 -32.3dB が得られている。これまでトレードオフと考えられていたマイクロ波回路動作の重要な指標である電力利得、電力効率、ひずみ特性を独立に制御できることを示している。

論文審査の結果の要旨

学位申請者氏名 LUONG DUY MANH

審査委員主査 本城 和彦

委員 石川 亮

委員 山尾 泰

委員 和田 光司

委員 水柿 義直

本論文は、量子効果デバイスおよび従来型トランジスタにおいて共通な電力利得発生メカニズムを示すとともに、この原理に基づき単電子トランジスタ (SET) の電力利得向上のための構造最適化、ならびに複数の従来型トランジスタを用いた電力利得向上ならびにマイクロ波特性向上を目指したものである。

第一章では、通信、リモートセンシングを始めとし、高速信号処理のデータ転送速度などのエレクトロニクスの分野において電力利得とその周波数特性の向上が、システムの高性能化の鍵であることを示し、電力利得の発生する基本メカニズムとして入力側から出力側への電流の遷移ならびに出力インピーダンス向上が電力利得の改善につながることを述べている。

第二章では、初めての試みとして、量子効果トランジスタの中での代表格である単電子トランジスタ (SET) を信号源有能電力とインピーダンス整合負荷電力の比から定義される電力利得の視点でモデリングし、構造パラメータとの関連を明らかにしている。さらに、電力利得と並んでSETの動作速度に大きな影響を与える電力利得の周波数特性についても解析している。この結果、SETの電力利得は、SETのソース接合厚を1.25nmまで薄くするなどデバイス構造を最適化すると40dB程度改善されることを示している。また周波数特性はTHz領域まで伸びていることを解析的に示している。これらからSETが高速デバイスとしての可能性を有していることが示されている。

第三章では、電力利得向上の知見を従来型デバイスであるInGaP/GaAsヘテロ接合バイポーラトランジスタ (HBT) にも適用し、これらの電力利得を複数トランジスタの回路的結合の視点で改善する方法を検討している。トランジスタを縦積みしたスタック構造として知られるカスコード回路において、それぞれのトランジスタを独立バイ

アス化することにより、1.9GHz帯において従来型カスコード回路に比べて5 dB以上の電力利得向上が計れることを理論的ならびにMMICチップを用いた実験により示している。この電力利得向上により生じた余裕を、ひずみ特性や電力効率向上に振り分けることが可能であることを示している。

第四章では、独立バイアス型カスコード回路を更に3段スタック構造まで進化させ、従来型3段カスコード回路との利害得失をInGaP/GaAs HBTとAlGaN/GaN HEMTに関して検討している。独立バイアス型HBTカスコード回路では1.9GHzにおいて5dB以上の電力利得改善が従来型に対して実験的に示されている。これらの検討により試作されたHBT増幅器では電力利得32.6dB、出力12dBm時に付加電力効率23.5%、3次相互変調ひずみ比-35dBcが得られ、GaN HEMT増幅器では電力利得24.0 dB、出力28.8dBm時に付加電力効率46.5%、3次相互変調ひずみ比-32.3dBが得られている。この構成により各段独立バイアス設定により、これまでトレードオフと考えられていたマイクロ波回路動作の重要な指標である電力利得、電力効率、ひずみ特性を独立に制御できることを示している。

第五章では、本論文を総括して結論を述べ、今後の展開について述べている。本研究を活用することで、量子効果デバイスと従来型トランジスタ双方の電力利得などデバイス性能を向上させることが可能となる。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として十分な価値を有するものと認める。