

外2-38

早稲田大学大学院理工学研究科

博士論文概要

論文題目

化合物半導体を用いたMESFET
及びICの高性能化に関する研究

申請者

今井祐記
Imai Yuhki

平成2年12月

GaAsに代表されるⅢ-V族化合物半導体は、従来からトランジスタの材料として使用されているSiに比べ、電子移動度が大きいため高周波デバイス・ICへの応用が期待されている。この中で、化合物半導体を用いたショットキー接合型電界効果トランジスタ(MESFET)は、高速デバイスとして有望でありこのため良好なショットキー接合が得やすいGaAsでは、MESFETの製作法・IC化の検討が盛んに行われている。

MESFETを高性能化するためには、製作方法・構造の点では、ゲート長の短縮と寄生抵抗の低減が特に重要である。また、現在GaAsを用いたMESFETが主流であるが、性能の材料的な限界を越えるためにはより電気的特性の優れた化合物半導体を用いたMESFETの検討が必要になる。更に、GaAs MESFETのIC化については、従来のSi ICでは不可能であったマイクロ波帯のICの出現が期待されるため、高周波帯でのMESFETの高精度モデル化・高周波帯でのICの設計法の確立が重要になる。

本研究では、化合物半導体を用いたMESFET及びICの高性能化を目的として、GaAs MESFETに関しては、①極短ゲート長化・低ゲート抵抗化技術。②GaAsのドライエッティングを用いた低ソース抵抗化技術。について研究を行い、高速MESFETに適したFET製作法を開発し、従来に比べ優れた性能のGaAs MESFETを実現した。また、GaAs MESFETの性能の材料的限界を越えるため、GaAsに比べ電子飽和速度の大きなInPを用いたMESFETについて研究し、GaAsに比べ倍以上の高速化が可能であることを示した。更に、InPをMESFETに適用する上で問題となるショットキー接合の低バリアハイト性についても改善法を明らかにし、GaAsと同等のバリアハイトを実現した。また、GaAs MESFETのIC化に関しては、マイクロ波帯アナログICの設計に必要な高精度MESFETモデルを開発し、このモデルをもとに、通信用GaAs ICのキーとなる増幅器ICの広帯域化とマイクロ波帯ICの低消費電力化の回路構成・設計法について研究し、従来に比べ極めて高性能化したGaAs ICを実現した。

第1章は、序論であり本論文の背景と目的を述べる。

第2章では、MESFETの新しいゲート電極構造・製作方法による極短ゲート長化・低ゲート抵抗化技術について述べる。ゲート長を短縮する方法として、ゲートパターンの形成に電子ビーム露光などの微細なフォトリソグフィーを適用することが多く検討されているが、本研究ではより簡易な方法で極短ゲート長を実現する事を目標とした。また、通常のゲート電極構造ではゲート長の短縮とともに、ゲート電極断面積が小さくなりゲート抵抗が増える欠点を有しており、この点の改善も極めて重要である。そこで本研究では、ゲート電極形成に斜め蒸着を

利用し通常の光露光によるゲートパターン形成を用いて、0.1μm級の極短ゲート長化と従来の1/3の低ゲート抵抗化を同時に実現する方法を提案した。また本製作方法により、ゲート長0.25μmのGaAs MESFETを試作し、短ゲート長化と低ゲート抵抗化が高周波性能改善に有効であることを示した。

第3章では、GaAsのドライエッティング技術を用いたリセスゲート構造によるMESFETの低ソース抵抗化について述べる。エピタキシャル基板を用いたGaAs MESFETでは、ゲート部分を掘り込むリセスゲート構造は低ソース抵抗化に適しており重要である。しかし、従来ゲート部分を掘り込むリセスエッティングにはウエットエッティングが用いられているため、エッティング形状の制御性が低く電気的特性の制御性・均一性に大きな影響をおよぼしており、更にエッティング形状の高性能化に向けた最適化も困難であった。このため、本研究ではGaAsのドライエッティングで問題となるGaAs表面の損傷によるショットキー特性などの電気的特性の劣化の影響を検討し、ドライエッティングをリセスエッティングに適用可能な条件を見出した。次に、ドライエッティングのエッティング形状の高制御性を利用し、ソース電極・N⁺層がゲート電極に対し、露光技術の合わせ精度に依存せず自己整合的(セルフアライン)に極めて短い間隔(0.3μm以下)で形成可能で、低ソース抵抗化に有効な新しいリセスゲートMESFETの構造・製作法を提案した。また、本製作法によりリセスゲートMESFETを試作した結果、閾値電圧の分散およびソース抵抗を従来に比べそれぞれ±0%、30%低減し、相互コンダクタンス400mS/mm以上の高性能化を実現した。

第4章では、InPを用いたMESFETについて述べる。InPはGaAsに比べ電子の飽和速度が1.5-2倍大きいため、MESFETの活性層として用いた場合、GaAsに比べより高速・高周波のデバイスが実現出来ることが期待される。しかし、InPを用いたMESFETの製作法はGaAsに比べ充分検討されておらず、特に高周波化で重要な短ゲート長でのInPMESFETの報告例はまだない。また、InPMESFETでは、ショットキー接合が低バリアハイトで逆方向電流が大きいという欠点を有するため、この点を解決することも大振幅動作が要求される回路への応用では必要になる。そこで本研究ではInPMESFETの製作技術を最適化し、ゲート長0.8μmのMESFETを試作し、電流利得遮断周波数40GHzというGaAs MESFETのほぼ3倍の高速性能を実現することによりInPMESFETが高周波のデバイスとして適することを示した。更に、InPMISショットキー接合を検討し、従来の方法に比べ、MESFETゲート製作工程への適用が容易なプラズマ酸化膜を中间層としたMISショットキー接合を提案し、この接合により通常のショットキー接合に比べ逆方向電流をほぼ1/1000に低減出来ることを示した。

第5章では、マイクロ波帯アナログIC設計用のGaAsMESFETモデルと、GaAs増幅器ICの広帯域化の回路設計技術について述べる。従来、光伝送信用のICとしてSiトランジスタが用いられていたが、伝送速度の高ビットレート化の要求により、より高速で動作が可能なGaAsMESFETの適用が期待されている。しかし、GaAsMESFETは単体トランジスタの高周波性能は優れているものの、そのIC化は端緒についたばかりであり、IC設計に必要なモデル、設計手法などの検討が充分に行われていない。特に、増幅器ICに代表されるアナログICでは、利得・雑音指數・整合条件などの多くの性能要求を、従来のICでは使用されたことのないGHz帯の高周波領域で実現する必要があり高精度FETモデルが必要である。また、光伝送信用の増幅器ではPCM通信であるため直流からマイクロ波帯の帯域を必要とし、通常マイクロ波帯ICで使用している容量結合型の構成は使用出来ず、レベルシフト回路を用いた直流結合型構成となる。このため、直流結合型構成ICの広帯域化の設計方法の検討が重要である。そこで本研究では、これらの課題を検討するとともにICを試作し、モデル・設計法の検証を行った。この結果、試作したICの性能を精度良く予測可能なFETモデルを確立し、更に、広帯域に適した回路構成の考案により直流から最大10GHzに及ぶ従来のICにない超広帯域化した性能を実現した。

第6章では、マイクロ波帯GaAsICの低消費電流化の回路設計技術について述べる。携帯無線通信用の装置では、小型化が必要であるため各部のIC化が進められている。この中でマイクロ波信号を扱う受信・送信部は高周波回路となるため、従来のSiトランジスタによるIC化が困難でありGaAsMESFETによるIC化が重要である。携帯無線にGaAsICを適用する場合、電源に電池を使用するため回路の低消費電流化が必要となる。しかし、従来のGaAsICでは低消費電流化について殆ど考慮されておらず、携帯無線装置に適用可能なICはまだない。そこで本研究では、携帯無線通信用の受信部に必要なマイクロ波帯の低雑音増幅器、周波数変換器ICの低消費電流化の設計法について検討した。この結果、集中定数LC整合型の低雑音増幅器、カスコード接続FETを用いた周波数変換器が低消費電流化に適することを示し、更にIC試作により従来に比べ1/4の超低消費電流化を実現した。また、このICにより受信部寸法は従来の1/5に低減でき、携帯無線装置の小型化に大きなインパクトを持つことを示した。

第7章では、本論文全体にわたる総括を述べる。