

学位論文題名

超高周波及び超高速デバイスの設計と 集積化に関する研究

学位論文内容の要旨

インターネットが社会基盤のひとつと言われる時代になったが、これを支えているのが通信システム及び情報処理システムである。いずれも電子及び光デバイスを駆使したエレクトロニクスの進化した成果の上に成り立っている。

デバイスは電子管から半導体へ、さらに集積回路へと進展した。半導体材料はゲルマニウムからシリコンへ、超高周波及び超高速分野に限っては化合物半導体へと進んだ。利用する電磁波は超短波からマイクロ波へ、さらにミリ波へと超高周波化した。近年は光ファイバー通信となった。電気信号はアナログからデジタルへ、速度はキロビット/秒、メガビット/秒からギガビット/秒へと超高速化した。集積化についてはマイクロモジュール立体集積から平面ハイブリッド集積へ、最終的にモノリシック集積へと著しい進展を見せている。

以上のようにエレクトロニクスは常に新しい材料及び加工技術と共に、設計と集積化を繰り返して進展してきた。その結果通信システム及び情報処理システムは小型、軽量のもとに超高速化し、超大容量化し、音声からデータへそして映像を含むマルチメディアへと進展した。

本研究では、上に述べたキーワードのうち最先端にある集積回路、化合物半導体、ミリ波、ギガビット/秒、モノリシック集積についてそのものあるいはその基盤となる技術に関連し、設計と集積化を機軸とした内容について検討を進めた。

本論文は、超高周波及び超高速デバイスに関するもので、具体的には化合物半導体としてガリウム砒素のダイオード及び電界効果トランジスタを対象とし、デバイスとしてミリ波周波数変換器及びスタティックメモリについて述べたものである。本論文の構成は以下の様になっている。

第1章では、研究の意義、研究の背景、目的、位置づけ、内容についてまとめた。ここではデバイスの分類に始まり、超高周波デバイスと超高速デバイスの比較について述べた。さらに前者についてその周波数領域拡大のための設計の基本概念について述べた。後者についてはガリウム砒素を適用した根拠、低消費電力で超高速動作を可能とする基本回路構成について記述した。

第2章では、ミリ波導波管形ダイオードの設計と集積化について述べた。ここでは設計の基本的考え方、交差導波管形ダイオードの構造設計、次いで 100 GHz 帯受信周波数変換器による性能確認、さらに回路構成としての集積化である通倍混合周波数変換器の理論、そして送信周波数変換器による実験結果との照合、最後は 150 GHz 帯ダイオードの特性について述べた。

第3章では、ミリ波薄膜回路素子の設計と集積化について述べた。まず回路を搭載するハイブリッド基板の選択、帯域阻止フィルタ、特にマイクロストリップ共振器について考察し、フィルタの挿入損失に対する最適解の探索を行った。実際に薄膜でフィルタを作製し、初めて 50 GHz 帯での実測値を得た。総合的性能確認としてスケールアップした準ミリ波 2 通倍器を平面集積のハイブリッド IC で実現し特性を確認した。

第4章では、ガリウム砒素 4 キロビットメモリの設計と集積化について説明した。メモリはウエハプロセス確立のためのキャリングヴィークルであり、超高速・低消費電力を実現するための設計性とプロセスの制御性を明確にした。まず回路設計によりプロセスが目指すべきターゲットを明

確にし、これに関連して電界効果トランジスタ閾値電圧の制御範囲、安定性、均一性について詳述し、最後メモリの測定結果について述べた。

第5章では、ガリウム砒素 16 キロビットメモリの設計と集積化について述べた。高均一モノリシックウエハプロセスを確立するのが狙いである。その3要素がステッパ露光、反応性イオンエッチング、そして無転位結晶の採用である。無転位結晶は電界効果トランジスタ閾値電圧及びインバータ特性の均一性を高めるために極めて有効であることを述べた。メモリの測定結果についても記述した。

第6章では、ガリウム砒素プロセス及び実装について説明した。ここではガリウム砒素集積回路の実用化に不可欠な事項について述べた。すなわち抵抗及びキャパシタの構造、プレーナ2層配線、オンウエハ測定用同軸高周波プローブ、ダイシングとダイボンド、パッケージについて述べた。さらに歩留まり向上の予備検討についてその好結果に言及した。

第7章では、これらの結果を総括し、本研究成果より期待できる事柄について述べた。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 雨 宮 好 仁
副 査 教 授 酒 井 洋 輔
副 査 教 授 佐 野 栄 一
副 査 教 授 宮 永 喜 一

学 位 論 文 題 名

超高周波及び超高速デバイスの設計と 集積化に関する研究

本研究は、高速高周波用のガリウム砒素 (GaAs) 集積回路のための設計方針と集積化技術を確立したものである。すなわち、GaAs デバイス——ダイオードと電界効果トランジスタ (FET)——を用いて高速デジタル・高周波アナログ集積回路を構成するための指導方針を確立した。本研究の内容と成果を以下に示す。

はじめに、ミリ波導波管形ダイオードの設計と集積化について検討を行った。設計の基本的な考え方を提案し、それを実際のデバイスで確認した。すなわち、交差導波管形 GaAs ダイオードを構造設計し、100 GHz 帯受信周波数変換器での性能確認を行った。集積化通倍混合周波数変換器の理論を展開し、最後に送信周波数変換器による実験結果との照合を行った。

次に、ミリ波薄膜回路素子の設計と GaAs デバイスによる集積化を検討した。回路を搭載するハイブリッド基板の選択から始めて、帯域阻止フィルタとマイクロストリップ共振器について考察し、フィルタの挿入損失に対する最適解の導出を行った。実際にフィルタを作製し、当時として最も高周波である 50GHz 帯での動作を確認した。総合的な性能確認として、ミリ波 2 通倍器を平面集積のハイブリッド IC で実現して動作を確認した。

さらに、GaAs FET による集積メモリの設計と集積化について検討した。メモリはウエハプロセス確立のためのキャリングヴィークルである。超高速・低消費電力の動作を実現するための設計性とプロセスの制御性を明確にした。目指すべきプロセス技術の程度を明確に提示し、GaAs FET の閾値電圧の制御範囲・安定性・均一性を論じて、実際のメモリ測定結果と照合した。無転位結晶の採用による歩留まり向上の理論を展開し、GaAs FET の閾値電圧と論理ゲート特性の均一性に与える効果を定量的に把握した。

最後に、GaAs 集積回路の実装についても設計方針を提示した。すなわち抵抗とキャパシタの構造、プレーナ 2 層配線の構成、オンウエハ測定用同軸高周波プローブ、ダイシングとダイボンド、パッケージ形状等について最適設計法を示した。

これを要するに、著者は高速デジタル・高周波アナログ GaAs 集積回路の設計方針と集積化技術を確立し、その後の超高速光通信用 IC や無線通信用 MMIC などの発展に貢献したところ大なるものがある。

よって著者は北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格があるものと認める。