

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	高度情報通信ネットワーク基盤の実現に向けた半導体モノリシックマイクロ波集積回路に関する研究
Title(English)	Research on semiconductor monolithic microwave integrated circuits for the advanced information and communication network infrastructure
著者(和文)	神岡純
Author(English)	jun kamioka
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12385号, 授与年月日:2023年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:岡田 健一,小寺 哲夫,波多野 睦子,若林 整,廣川 二郎,鈴木 左文
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12385号, Conferred date:2023/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	神岡 純	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	岡田 健一	教授	廣川 二郎	教授
	審査員	小寺 哲夫	准教授	鈴木 左文	准教授
		波多野 睦子	教授		
		若林 整	教授		

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、“Research on semiconductor monolithic microwave integrated circuits for the advanced information and communication network infrastructure” (高度情報通信ネットワーク基盤の実現に向けた半導体モノリシックマイクロ波集積回路に関する研究) と題し、英文 7 章から構成されている。

第 1 章“Introduction” (序論) では、高度な情報通信ネットワーク通信基盤として、超多数同時接続を実現する無線通信技術と、膨大な情報を用いたシステム全体の最適化、および高信頼な通信を実現する量子情報処理技術が求められていることを説明している。これらのシステムの性能向上のためには、マイクロ波能動素子と受動素子を 1 つの半導体チップ上に集積したモノリシックマイクロ波集積回路 (MMIC) が重要であると述べている。無線基地局の完全仮想化、量子コンピュータの実現といった情報通信ネットワーク基盤における要求に向けて、MMIC の回路定数の最適化だけでなく、新たな回路構成とデバイス構造の適用、異種回路の組み合わせによる性能のトレードオフ関係の改善が必要であることを説明している。本論文では、高速・大容量・低消費電力・低コスト・高信頼性通信を実現するための MMIC の高性能化に関する研究を行ったことについて説明している。

第 2 章“Challenges for advanced information and communication network infrastructure” (高度情報通信ネットワーク基盤に向けた挑戦) では、無線通信に用いられるマイクロ波増幅器に関する技術的背景、無線基地局の完全仮想化に向けた GaN MMIC 増幅器の広帯域化・高効率化・低コスト化の必要性について説明している。量子ネットワークの実現に向けたシリコン量子ドットに関する技術的背景、および量子状態読み出しのための RF 反射測定に関する手法と、高集積化、高忠実度化に向けた課題について説明している。

第 3 章“GaN-MMIC ultra-wideband bandpass distributed amplifier” (超広帯域 GaN-MMIC バンドパス分布型増幅器) では、高速・大容量通信を実現するための超広帯域バンドパス分布型 GaN MMIC 電力増幅器を設計、およびその評価結果について述べている。従来用いられている不均一分布型増幅器は出力電力と帯域幅の間にトレードオフの関係があることを示している。そこで、新たに提案したバンドパス不均一分布型増幅器構成によって、トレードオフ関係を改善したと報告されている。バンドパス不均一分布型 GaN MMIC 増幅器の設計評価を行い、比帯域 100% 以上の MMIC 増幅器として、報告されている MMIC 高出力増幅器の中で最高の出力電力と電力密度を達成することができ、設計手法の有効性を実証したと述べている。

第 4 章“GaN-MMIC high-efficiency high power amplifier using individual source via structure” (Individual source via 構造を用いた GaN-MMIC 高効率高出力増幅器) では、通信システムの低消費電力化のために、櫛歯電極構造トランジスタのすべてのソースフィンガにビアホールを備えた ISV (Individual Source Via) 構造トランジスタを用いた高効率 GaN MMIC 電力増幅器の設計と評価について説明している。ソースインダクタンスの小さい ISV 構造によりトランジスタ性能を向上させるとともに、負荷インピーダンスと回路損失の関係を考慮した出力整合回路の最適化を行ったと説明している。試作した X 帯 GaN MMIC 高出力増幅器の評価結果は、他報告の X 帯 MMIC 電力増幅器と比較して良好な出力電力と電力付加効率を得ることができ、ISV 構造および回路設計手法の有効性を示したと述べている。

第 5 章“Power amplifiers and a switch incorporating partial MMIC and GaN-on-Si technologies for low-cost transmit/receive module” (送受信モジュールの低コスト化に向けたパーシャル MMIC と GaN-on-Si 技術を用いた増幅器およびスイッチ) では、低コスト化に向けた送受信モジュールチップセットの試作評価結果を示している。GaN-on-SiC デバイスは高出力かつ高効率であるが、SiC 基板が高価であることからコストが高くなる傾向があるため、シリコン基板を用いた GaN-on-Si MMIC がコスト的に有利であることを説明している。また、GaN 系 MMIC と低コストかつ低損失な GaAs MMIC の整合回路を組み合わせたパーシャル MMIC 構成を提案している。GaN-on-Si MMIC ドライバ増幅器、GaAs MMIC 整合回路を用いた GaN-on-SiC MMIC 高出力増幅器、GaAs 出力整合回路を用いた GaN-on-Si 高出力増幅器、GaN-on-Si 高出力スイッチについての設計評価結果を示している。これらは送受信モジュール用チップセットとして従来と同等の性能を約半分のコストで実現できたことを説明している。

第 6 章“On-chip matching circuits for RF reflectometry using Si quantum dot charge sensor”（シリコン量子ドット電荷センサを用いた RF 反射測定向けオンチップ整合回路）では、物理形成シリコン量子ドットにおいて RF 反射測定という高速な電荷センサ向け MMIC 整合回路の設計手法について述べている。従来の電荷センサにはシャントキャパシタ-シリーズインダクタ型整合回路が用いられていたが、新たに提案するシャントインダクタ-シリーズインダクタ型整合回路を用いることで広帯域化かつ小型化が可能となることを解析的に説明している。また、シリコンチップ上での量子ドットの電流電圧測定および S パラメータ測定結果を用いて等価回路パラメータを抽出し、小型な MMIC 整合回路の設計により読み出し忠実度 99% 達成に必要な周波数帯域を実現し、提案する整合回路の有効性を示している。

第 7 章“Conclusions”（結論）では、本論文の結論と今後の展望をまとめている。無線基地局の完全仮想化に向けて、第 3 章から第 5 章で提案した技術を組み合わせた場合における無線通信向け増幅器の性能予測を示し、有効性と今後の課題について示している。また、量子情報処理技術の実現に向けて、第 6 章のシリコン量子ドット RF 反射測定電荷センサ向け MMIC 整合回路技術のさらなる大規模な量子コンピュータに向けた課題について示している。

以上を要するに、本論文では、高度情報通信ネットワーク基盤の実現に向けた無線通信向け GaN MMIC 増幅器の広帯域化、高効率化、低コスト化に関する研究、および量子情報処理の実現に向けたシリコン量子ドット RF 反射測定電荷センサにおける広帯域かつ小型な MMIC 整合回路設計技術の確立が行われた。以上の内容は、将来的に高度情報通信ネットワーク基盤を実現するための重要な要素技術となるものであり、工学上、貢献するところが大きい。よって、我々は本論文が博士(工学)の学位論文として十分な価値があると認める。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。