

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	ミリ波増幅器向けGaN-HEMTの高出力・高周波化技術およびデバイスモデル構築
Title(English)	
著者(和文)	牧山剛三
Author(English)	Kozo Makiyama
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10318号, 授与年月日:2016年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:宮本 恭幸,小田 俊理,浅田 雅洋,波多野 睦子,鈴木 左文,福田 浩一
Citation(English)	Degree; Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10318号, Conferred date:2016/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻:	電子物理工学	専攻
Department of		
学生氏名:	牧山 剛三	
Student's Name		

申請学位(専攻分野):	博士 (工学)
Academic Degree Requested	Doctor of
指導教員(主):	宮本 恭幸
Academic Advisor(main)	
指導教員(副):	
Academic Advisor(sub)	

要旨(和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は「ミリ波増幅器向け GaN-HEMT の高出力・高周波化技術およびデバイスモデル構築」と題し、和文 8 章からなる。

第 1 章「序論」では、本研究の背景を示し、無線通信やレーダー等の用途におけるミリ波増幅器の必要性や、このミリ波増幅器に GaN-HEMT を用いることのメリットについて述べた。さらに本章では、高出力 GaN-HEMT デバイスを実現するための課題(デバイス構造・諸元、過渡応答現象の抑制およびデバイスシミュレータを用いた電気特性予測)を提示した。

第 2 章「ミリ波増幅器向け AlGaIn/GaN-HEMT 構造設計」では、まずミリ波増幅器を実現するためのデバイス性能ターゲットについて述べ、さらに、MMIC を実現するための新規高歩留まり Y 型ゲート構造製造技術について述べた。デバイス構造設計では、エピ構造の最適化やデバイス諸元(ゲート長、ゲート-ドレイン間距離等)の最適化を行った。さらに、ミリ波増幅器向けデバイスで重要なショートチャネル抑制効果を達成するために、AlGaIn バックバリアの効果実証実験を行い、微細ゲート適用時のピンチオフ特性およびオフ耐圧特性の観点から基礎的な構造決定を行った。

第 3 章「ミリ波増幅器向け AlGaIn/GaN-HEMT 表面パッシベーション技術」では、絶縁膜/半導体界面トラップ低減を目的とした、高い Si-H 含有 SiN 膜(還元性 SiN)による表面酸化物還元効果による、電流コラプス改善技術を新規に開発した。さらに、第 2 章および第 3 章に記載した開発デバイス技術ミリ波増幅器 MMIC に適用し、1.3W(動作周波数 75GHz)出力を実証した。

第 4 章「ミリ波増幅器向け AlGaIn/GaN-HEMT 高性能化技術の開発」では、ミリ波増幅器向け GaN-HEMT では初めての、安定したデバイス作製技術とデバイスシミュレーション技術によるオフセットオーバーハングゲート構造について述べた。この技術により、電流コラプス改善効果が確認された。さらに、更なるゲート電極の微細化をにらみ、InGaIn バックバリアの構造設計を行い、AlGaIn バックバリアよりも優れたショートチャネル抑制効果を実証した。

第 5 章「高出力化を実現する次世代 InAlGaIn/GaN-HEMT 技術」では、増幅器の高出力・高周波化を実現するために、In 系窒化物半導体デバイス開発について述べた。研究では、InAlGaIn 障壁層の優位性を明らかにし、かつさらなる電流コラプスの改善を可能にする新規絶縁膜技術(耐酸化性 SiN 技術)を開発し、その効果を実証した。この技術により作製された InAlGaIn/GaN-HEMT で、ほぼコラプスを解決し、W 帯単体 HEMT 出力: 3.0W/mm(MMIC 出力: 3.6W/mm)の非常に優れた出力特性を実現した。さらに開発したデバイスでの基礎的信頼性試験を実施し、商用デバイスとしての足掛かりとなる結果を得た。また、デバイスシミュレーションを、InAlGaIn/GaN-HEMT のような高電流デバイスに対応させ、低電流コラプスの要因の一つが InAlGaIn の大きな伝導帯不連続である可能性を指摘した。

第 6 章「GaN-HEMT 増幅器におけるトラップの影響に関する考察」では、W 帯増幅器の動作状態に着目したキラートラップに関する考察を行った。結論として、100GHz 程度の増幅器では、増幅器のオフ状態およびアイドル状態での電子捕獲が、出力特性に大きな影響を与えると結論した。さらに、RF 入力時に起こりうる電圧電流ストレス状態に対して、InAlGaIn/GaN-HEMT ではその影響が軽減される根拠を示した。

第 7 章「今後の課題」では、ゲート長 60nm 以下に対応するバックバリア技術の重要性、ゲート電極ドレイン側端の電界集中を緩和する絶縁膜構造の重要性、さらに InAlGaIn/GaN-HEMT の出力特性を大幅に改善しうるオーミック技術の重要性を示した。

最後に、第 8 章「結論」では、本研究で得られた結果を総括した。

備考: 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意: 論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： 電子物理工学 専攻
Department of
学生氏名： 牧山 剛三
Student's Name

申請学位(専攻分野)： 博士 (工学)
Academic Degree Requested Doctor of
指導教員(主)： 宮本 恭幸
Academic Advisor(main)
指導教員(副)：
Academic Advisor(sub)

要旨(英文 300 語程度)
Thesis Summary (approx.300 English Words)

This paper is titled “Study of High-Power, High-Frequency GaN-HEMT Technologies and Device Simulation using Mathematical Modeling for Millimeter-wave Amplifiers”.

Chapter 1 describes the background, motivation and purpose of my research. GaN-HEMTs have a potential as devices for high-power millimeter-wave amplifiers. A high-output GaN power amplifier can be used in a high-capacity wireless network with coverage of over a radius of several kilometers.

Chapter 2 describes the basic epitaxial and device structure design technology using nitride semiconductor. This was the first study of millimeter-wave devices carried out in the world.

Chapter 3 describes the passivation technology for suppressing the current collapse of a GaN-HEMT. By a chemical reaction, electron traps on the surface of semiconductor were decreased and improved the current collapse.

Chapter 4 describes how technologies have improved by mean of using this device. The unique offset-overhanging gate structure and InGaN back-barrier technologies were reported to have advanced overall performance.

Chapter 5 describes how challenging it was to achieve maximum output-power with an In-based nitride semiconductor, in which the multi-layers SiN passivation technology was adopted. We demonstrated that extremely low current collapse and high-output-power density can be accomplishing high-output power density and that it's reliable.

Chapter 6 describes the current collapse impact for operating amplifier. Using a device simulator, we explained killer electron traps for amplifiers. Calculation results show that the interface traps between semiconductor and SiN are killer traps when an amplifier is in idle situation. Furthermore, calculated results suggested large conduction band discontinuity, like InAlGaN, suppresses impact of interface electron traps.

Chapter 7 describes challenges to higher performance. GaN-HEMT requires back-barrier technologies for suppressing short-channel effects, passivation technology to control access resistance and low ohmic contact resistance.

Chapter 8 is a summary of this paper.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(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。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).