T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	高周波アナログ回路の低ノイズ化に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	荒井知之
Author(English)	Tomoyuki Arai
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10002号, 授与年月日:2015年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:益　一哉,植之原　裕行,若林　整,石原　昇,岡田　健一,伊藤　浩之
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10002号, Conferred date:2015/9/25, 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

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	物理電子システム創造　専攻	博士 Doctor of	博士 Doctor of　（工学）
学生氏名： Student's Name	荒井 知之	指導教員（主）： Academic Advisor(main)	益 一哉　教授
		指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	

要旨（和文 2000 字程度）
Thesis Summary（approx.2000 Japanese Characters ）

本研究では、将来の社会インフラとなる情報通信システムに不可欠な無線通信システムに用いられる、高周波アナログ回路の低ノイズ化について研究を行った。1980 年代に無線通信システムが使われるようになって以来、求められるトラフィック量は急速に増大し、システムの変調方式多値化によりデータレートの高速化を実現してきた。この変調方式の多値化のためには、受信器の高 SNR 化が不可欠である。本研究では、無線通信端末低ノイズ化において端末開発初期に重要であったデバイスの低ノイズ化技術、及びその後重要になってきた回路集積化技術による高周波アナログ回路の低ノイズ化について述べる。

第 2 章では、デバイス高周波特性向上に必要な寄生抵抗低減に重要な、オーム性電極材の低接触抵抗値化およびその電極材の設計指針について論じた。

p 型 GaN は、ヘテロ接合中間層を形成するのが困難であるため、低接触抵抗な電極材を作成するのが課題となっていた。そこで、再現性に優れる DA(Deposition and anneal)法を用いて、ホモ接合中間層を形成させることで低接触抵抗値化させることを目指した。電極材に仕事関数の大きな材料を用いて、ドーパントである Mg と結合して不活性化させている水素を除去することを目論み、酸素中で熱処理を行う技術と、水素原子との結合力が大きい材料を用いる技術により低接触抵抗値の電極材を実現した。また、その電極材の信頼性についても論じた。n 型 InAlAs に対する電極材についても、ホモ構造中間層形成を指針として材料探索を行った。電極材には、ドナーとなる材料と、その材料と置換させたい半導体中の元素と反応しやすい材料を用いた。これにより、電極材中のドナーとなる元素を半導体中の元素と置換させ、電極材と半導体界面においてホール濃度の高いホモ構造中間層を形成させるという設計指針を示した。この電極材の設計指針はその後の研究でも妥当性が実証されている。

第 3 章では、デバイスの高周波特性の中でも重要なノイズ特性向上の技術について論じた。従来のリセス構造の InP HEMT のノイズ特性の解析結果からドレインコンダクタンスの周波数分散とノイズ生成モデルを提案した。このモデルから明らかになったノイズ源であるデバイスのソース部に蓄積するホールを除去するプレーナ構造デバイスを提案した。このデバイスにより、ドレインコンダクタンスの周波数分散が従来の 4 分の 1 に低減され、NF、1/f ノイズも低減されることを示した。これにより、ノイズモデルの妥当性を実証し、デバイス高周波特性の向上を実現した。

第 4 章では、送信器回路および発振器回路の低ノイズ化技術について論じた。送信器回路については、プロセスの微細化に伴い増大するばらつき、温度特性を補償する制御回路技術、またその制御技術と出力電力に応じた増幅器の出力制御により線形性を改善することで受信器の高 SNR 化を実現した。発振器回路については、Quadrature VCO を用いて、これまでの課題であった IQ 位相誤差と位相ノイズの両立を実現する制御回路により、低消費電力化と低ノイズ化を行った。そして、Quadrature VCO を構成する二つの LC-VCO の結合に、結合のための素子を不要とする手法により低ノイズ化と低消費電力化を行った。また、発振器の広帯域化における課題と広帯域化の手法についても論じた。

第 5 章では、将来の無線通信端末の低ノイズ化に対する展望を述べた。今後、無線通信端末の集積化は、SOC(System on chip)、SIP(System in package)の技術によりますます加速すると考えられる。この集積化において低ノイズ化を実現するためのデバイス技術及び、今後の集積化技術に求められる方向性について論じた。

以上、本論文は高周波アナログ回路の低ノイズ化に関する研究についてまとめた。電極材として、当時世界最高の接触抵抗値を実現し、その設計指針を示した。この設計指針はその後の研究でその妥当性が実証されている。また、デバイスのノイズ生成メカニズムを明らかにし、ノイズ生成要因を抑制するデバイス構造の提案によりノイズの低減を実現し、そのモデルの妥当性を示した。高周波アナログ回路においても、微細化に伴い課題となるプロセスばらつき、温度による特性変動を抑制する技術、および、発振器信号の位相誤差と位相ノイズを両立させる技術により、低ノイズ化を実現した。これらの研究成果は、今後の高周波アナログ回路のノイズ化に有用であり、今後重要度を増す無線通信端末の高集積化に寄与する技術である。

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).

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	物理電子システム創造　専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of　（工学）
学生氏名： Student's Name	荒井 知之	指導教員（主）： Academic Advisor(main)	益 一哉　教授
		指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	

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

This thesis presents studies of low noise RF analog circuits which are indispensable for the wireless communication network systems. Since the wireless communication system evolved since 1980's, the required traffic increased so rapidly. To meet the explosive increase of the traffic demand, the data rate of the system was increased by the reduction of the transceiver noise.

In chapter 2, the reduction of contact resistance of ohmic contacts and the development of a guideline for preparation of low-resistance ohmic contacts are discussed.

One of the guide lines to form ohmic contacts to p-GaN is to anneal in O_2 ambient to remove hydrogen atoms with large work function materials. And the other is the adoption of contact materials, which have negative enthalpies for hydride formation smaller than that needed to form hydrides with Mg atoms. These guide lines were proved by the following studies. For n-type semiconductor, using materials with the combination of donor element, and the element which reacts with the semiconductor element to facilitate the substitution of donor is the guide line to form ohmic contacts.

In chapter 3, the reduction of noise of high speed device was discussed.

The noise generation and drain conductance frequency dispersion mechanism model was proposed based on the InP based HEMTs with recess structure. The planar structure device showed the suppression of the noise and drain conductance frequency dispersion. It proved the noise generation model.

In chapter 4, the reduction of power consumption and noise of CMOS RF transmitter and oscillator circuits was discussed.

The noise reduction was achieved by improving linearity of the transmitter circuits introducing bias circuits which compensate the process variations and temperature dependences. The noise and power reduction of oscillator was achieved by the phase compensation loop and the technique to combine two LC VCOs to form a quadrature VCO. The technique to achieve wider tuning rage with low phase noise is also described.

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).