

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	高周波受信MMICの広帯域化技術とその応用に関する研究
Title(English)	Study of broadband millimeter-wave receiver MMIC and application
著者(和文)	佐藤優
Author(English)	Masaru Sato
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9655号, 授与年月日:2014年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:益 一哉,筒井 一生,若林 整,岡田 健一,伊藤 浩之
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9655号, Conferred date:2014/9/25, 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

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： 物理電子システム創造 専攻
Department of
学生氏名： 佐藤 優
Student's Name Masaru Sato

申請学位(専攻分野)： 博士 (工学)
Academic Degree Requested Doctor of Engineering
指導教員(主)： 益 一哉
Academic Advisor(main) Kazuya Masu
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、ICT 社会の共通インフラとなる情報通信システムやレーダシステムの高性能化の基礎となる受信器の高性能化についての研究を行った。受信器の高性能化に関しては、広帯域化と高感度化が高速通信システム並びにテラヘルツ帯イメージングを実現する上で重要な役割を果たす。以下に得られた成果についてまとめる。

第 2 章では各種受信システムにおいてキーデバイスである低雑音増幅器の高性能化について論じた。光通信システム、ミリ波イメージセンサ、100 GHz 超通信システムの、各受信器に適用可能な増幅器の設計技術についてまとめた。

100 Gbps 光通信システム用ベースバンド増幅器には DC 近傍から 100 GHz までの広帯域性能が求められる。このような超広帯域性を実現する増幅器の形式として分布型増幅器が知られているが、分布型増幅器は広帯域性を保ったまま高利得化することが困難であった。そこで、ユニット増幅器に 2 段増幅器を用いることにより高利得化を図る手法を提案した。本設計手法を用いることにより InP HEMT 増幅器の試作を行い、帯域 105 GHz、利得 10 dB の増幅器を実現した。これらの技術開発により光通信および超高速無線通信システムに適用可能な受信増幅器の設計手法を実現した。

ミリ波イメージセンサ用に適用可能な低雑音増幅器には、低雑音性と高利得特性の両立が求められる。ミリ波を超える周波数帯では半導体基板の内部を電磁界が伝搬し、この帰還により増幅器は発振するというミリ波帯高利得増幅器の課題を明らかにした。この帰還電力を抑圧する実装手段を提案し、これを用いることにより帰還電力を従来技術に比べて 20 dB 以上抑圧することに成功した。本技術を用いて試作した高利得増幅器は、80~100 GHz の 20 GHz にわたり、利得 30 dB 以上の高利得特性を得た。また、雑音指数は 3.5 dB であり、他の報告例と比べても高利得・低雑音・広帯域な特性を有している。

今後実用化が期待される 100 GHz 以上の超高周波を用いた無線通信システムへ適用可能な高周波低雑音増幅器の設計手法についても論じた。電流再利用型ゲート接地増幅器を提案し、これにより広帯域増幅器を設計できることを示した。本設計手法を用いて試作した複数の周波数帯で動作する増幅器の特性例を述べる。68~123 GHz 増幅器は利得 18dB、雑音指数 3.2 dB、105~195 GHz 帯増幅器は利得 15 dB、雑音指数 3.5 dB、135~220 GHz 帯増幅器は利得 12 dB、雑音指数 4 dB、270~330 GHz 帯増幅器は利得 14 dB といずれも広帯域、低雑音性能を有している。消費電力あたりの利得も他機関の報告例よりも高い結果を得た。

3 章ではミリ波アプリケーションの応用として 94 GHz 帯イメージングセンサの構築に関して論じた。イメージングアレイを構築するために各 RF コンポーネントの小型化と広帯域・低雑音化をする必要があり、様々な技術の組み合わせが必要となる。始めにシステムスペックを実現するために求められるコンポーネントの RF 性能に落とし込み、それを実現する素子の設計について論じた。これらの回路・実装技術により 94 GHz 帯パッシブイメージセンサを構築した。94 GHz 帯パッシブミリ波イメージセンサは、温度分解能 1 度以下のミリ波画像が得られた。取得したミリ波イメージは隠匿物検知や壁越しのイメージングに成功した。また、インパルス発生器をミリ波源とした新たな方式により、アクティブイメージングを行った。アクティブイメージングは S/N の少ない環境、例えば、遠距離にあるターゲットの観測やテラヘルツ帯イメージングなどへの応用が期待される。

4 章ではテラヘルツ帯の受信器フロントエンドに関する研究について論じた。ここでは、110~140 GHz 帯の高精度スペクトラム計測を目的とした基本波ミキサについて論じた。歪が少なく、かつ、低い L0 電力で駆動可能なレジスタティブミキサ形式を採用し、これと広帯域ダイプレクサを用いることにより、高い変換利得帯域積(7 GHz)を 2 dBm の低い L0 パワーにより駆動することができた。さらに、このミキサと L0 バッファ、1F 帯増幅器を集積化することにより、より高い利得帯域積を低い L0 パワーで駆動することに成功している。

テラヘルツ帯検波器としてはゼロバイアス付近で高い非線形性を有するバックワードダイオードによる研究を論じた。100 GHz 超帯域で検波感度特性を評価し、従来のショットキーバリアダイオードによる検波器と比較して 10 倍以上の高感度化を実現できることを示した。

以上を要するに、本論文は高周波受信 MMIC の広帯域化技術とその応用に関する研究についてまとめた。回路設計技術、超高周波デバイスやアンテナなど様々な設計手法の成果は、広帯域化・高利得化などにも効果があることを示し、それぞれの回路開発時点において世界最先端の性能を実現した。これらの研究成果は今回示したアプリケーション以外のものにも応用可能で、今後の超高周波回路の性能向上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： 物理電子システム創造 専攻
Department of
学生氏名： 佐藤 優
Student's Name

申請学位(専攻分野)： 博士 (工学)
Academic Degree Requested Doctor of Engineering
指導教員(主)： 益 一哉 教授
Academic Advisor(main) Professor Kazuya Masu
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 broadband millimeter-wave receiver MMICs and its applications which are capable for high bit-rate communication systems and high-resolution sensors. Wide bandwidth and high sensitivity receiver are keys for realizing these applications. Details are described below.

In chapter 2, several types of broadband amplifier using InP HEMT technology are discussed. For 100 Gbps communication system, a baseband amplifier that has an ultra-broadband characteristic from DC to 100 GHz is required. The fabricated amplifier realized gain of 10 dB and bandwidth of 105 GHz.

For realizing high gain millimeter-wave amplifiers, feedback power transmitting inside the chip substrate should be suppressed to avoid instability. I introduced a flip-chip assembly and resistive layer to reduce unwanted feedback power. The fabricated millimeter-wave amplifier successfully realized a gain of more than 30 dB, noise figure of 3.5 dB from 80 to 100 GHz.

Design methodology of common-gate amplifier with current reuse topology that are useful for high-frequency and broadband amplifier. W-band (68-123 GHz), D-band (105-195 GHz), G-band (135-220 GHz), and J-band (270-330 GHz) amplifiers were realized.

Chapter 3 describes 94 GHz band millimeter-wave imagers. RF components constructing small-size imaging array are discussed in detail. Then, broadband and low-noise receiver MMIC and small-size planar antenna are designed. The passive imaging system successfully obtained millimeter-wave image. Furthermore, novel active imaging by applying impulse generator is also proposed and obtained high-resolution millimeter-wave image.

Chapter 4 described receiver front-ends that are capable for THz applications. One is 110-140 GHz fundamental mixers that were developed in InP HEMT. The mixer was also integrated with HEMT amplifier. The other is backward diodes for THz detection with high sensitivity. The backward diode can be integrated with HEMT amplifier by designing epitaxial layer. The measured sensitivity at 94 GHz was ten times higher than that of conventional schottky-barrier diodes.

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).