

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 ゲエン カン ゴク マイ
(Nguyen Ngoc Mai Khanh)

本論文は「A Fully Integrated CMOS Pulse Transmitter with On-Chip Antenna Array for Millimeter-Wave Imaging (ミリ波イメージングに向けたオンチップ・アレイアンテナ付集積化 CMOS パルス送信回路)」と題し、十～百 GHz ミリ帯域の電磁波を利用した能動イメージングの応用に向けた広帯域パルス信号発生とオンチップ・アレイアンテナによる送信ビーム偏向制御について研究したもので、英文で記述され八章より構成されている。

第一章は「Introduction and Motivation(序論)」であり、十～百 GHz ミリ波帯域の能動イメージングの有用性とビーム偏向のための電子制御の可能性について述べることで研究の背景と目的を述べている。

第二章は「Array Antenna and Beam-Forming(アレイアンテナとビーム形成)」と題し、アレイアンテナを構成する際の設計パラメータに基づきアレイアンテナの偏向特性を表すアレイ・ファクタについて計算し、アレイ要素の指向特性とアレイ・ファクタから最終的アレイアンテナの指向性と偏向制御性を予測する設計手法について述べている。具体的にパッチ・アンテナアレイを例に挙げアレイ数と指向性の関係について示している。

第三章は「Integrated Pulse Beam-Forming Transmitter(集積化パルスビーム形成型送信回路)」と題し、集積化に向けたアンテナの候補と集積回路積層構造が電磁波放射に及ぼす影響を論じ、アレイアンテナにパルス列を与えた場合のビーム偏向特性とパルス遅延の関係、アレイアンテナ数とアンテナ利得との関係等、パルス・アレイアンテナの基本特性について論じている。

第四章は「Integrated Shock Wave Generator and Variable Delay Circuits(集積化衝撃波発生器と可変遅延回路)」と題し、LCR ダンピング手法に基づくパルス発生器とパルス発生器にトリガー信号を与えるための可変パルス遅延制御回路の設計手法を示している。LCR ダンピング手法に基づくパルス発生器ではバイポーラトランジスタによる並列ダンピング回路と MOS トランジスタによる直列ダンピング回路について回路パラメータとパルス波形の関係を明らかにし、可変パルス遅延制御回路については電圧制御型遅延回路とデジタル制御型遅延回路についてその特性と設計手法を述べている。

第五章は「Pulse Array Antenna Transmitter Implementation in 0.25- μm BiCMOS process (0.25 μm のバイポーラ-CMOS 混載製造技術によるパルス・アレイアンテナ送信器の実装)」と題し、前章で述べたバイポーラトランジスタによる並列ダンピング回路と電圧制御型遅延回路を用いたループ・アレイアンテナ型送信器を試作・評価した結果について述べている。直径が約 30 μm のループアンテナを 54x24 個チップ上に集積した試作チップを 90-140GHz 帯域のホーンアンテナを用いて評価した結果、アレイアンテナの指向性が電圧制御遅延回路の遅延パラメータを変更することでメインビームの方向を制御できることをシミュレーションおよび実験的に示している。

第六章は「Fully Integrated Transmitter Implementation in 0.18- μm CMOS process(0.18 μm CMOS 製造技術を用いた全集積化送信器の実装)」と題し、第四章で述べた直列ダンピング回路とデジタル制御型遅延回路を用いたミアンダー型ダイポールアンテナによる送信器を試作・評価した結果について述

べている。7.4-11.8GHz 帯域のパルス電磁波の波形を 20dB のホーンアンテナを用いて直接観測し、デジタル制御型遅延回路が 3ps の分解能で動作していることを実験的に検証し、ビーム偏向制御に応用することが可能であることを述べている。

第七章は「Fully Integrated Antenna Array Implementation in 65-nm CMOS process(65-nm CMOS 製造技術を用いた全集積化アレイアンテナ)」と題し、デジタル制御遅延回路、直列ダンピング回路およびダイポール・パッチアンテナを要素回路とし、全 8 素子のアレイアンテナを 65-nm CMOS 技術で集積化したチップを試作・評価した結果について述べている。ダイポール・パッチアンテナのリターン・ロス特性と電磁波放射特性のシミュレーション結果、デジタル制御型遅延回路のシミュレーション特性を示した後、パッチ・アンテナ要素回路について電磁波放射の指向性パターンがシミュレーションで予測される双峰性を示していることを実験的に示している。さらに同一チップ上に実装されているジッタ測定回路を用いてデジタル制御型遅延回路の測定を行った結果から、遅延ジッタの標準偏差がデジタルコードの LSB 程度に抑えられていることを示し、最後に 8 素子のダイポールパッチ・アンテナアレイから構成される全集積化送信器の測定結果を示し、デジタル遅延コードを制御することでメインビームの方向が可変となることを実験的に検証している。

第八章は「結論」であり本論文の研究成果をまとめている。

以上、本論文はダンピング型パルス発生器とオンチップ・アンテナをアレイ状に集積し、パルスのトリガタイミングを電氣的に制御することで、ミリ波帯域におけるパルス電磁波の電氣的ビームフォーミングが実現できることを実験的に示し、全電氣的制御によるミリ波パルス能動イメージングの可能性を示したもので電子工学の発展に寄与する点が少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格したものと認められる。