

審査の結果の要旨

論文提出者 枚田 明彦

本論文は、「光技術による 100 GHz 超ミリ波信号の発生及びその無線通信応用に関する研究」と題し、100 GHz を超えるミリ波信号の安定な発生を可能にする光技術を確立することを目的として、120 GHz 帯における光ミリ波信号の発生手法や光電変換デバイスの特性、アンテナ集積フォトダイオードモジュール等について検討を行い、さらにこれらの光技術を使用したミリ波発生技術のアプリケーションとして超広帯域ミリ波無線通信を中心に記述し、生体計測等の応用についても論じている。全体で8章からなり、和文で書かれている。

第1章は「序論」であり、本研究の背景、目的、位置づけを明確に定義し、加えて本論文の構成を述べている。

第2章は「光技術を用いたギガビット無線リンクの構成」と題し、既存の光技術を使用したミリ波発生技術及びその帯域制限要因の概説を行った後、光技術を用いたギガビット無線の構成について議論する。具体的には、ギガビット伝送を可能にする無線リンクに求められる周波数、通信方式、デバイス特性等を明らかにした後、100 GHz を超えるミリ波信号の発生・変調・放射に光技術を使用したミリ波無線リンクの構成を示している。

第3章は「ミリ波信号発生用光源」と題し、ミリ波の周波数帯で強度変調された光信号（光ミリ波信号）を発生する光源「ミリ波信号発生用光源」の検討を行う。半導体モードロックレーザや光ヘテロダイン技術など各種ミリ波信号発生用光源に対して周波数安定性や位相雑音を計測し、ミリ波無線に使用する光源としての適性を評価している。中でも光ヘテロダイン法と外部光変調器を組み合わせた光源は高安定であり周波数可変範囲も広くミリ波無線に使用する光源としての適性は高い。しかし、この手法は、ファイバカプラ部の光路長差の変動が位相雑音の増加に結びつく欠点を有している。そこで、光信号の合波・分波にアレイ導波路格子（AWG）と光コンバイナを集積した平面導波路回路（PLC）を使用することにより、光路長差の変動を抑制し低周波領域での位相雑音を低減可能であることを示している。

第4章は「ミリ波信号発生用光電変換素子」と題し、高速・高出力という特徴を有する光電変換素子である単一走行キャリアフォトダイオード（Uni-traveling carrier photodiode: UTC-PD）について 100 GHz を超える周波数領域での出力について理論的検証及び実験・評価を行っている。CW 動作時の UTC-PD 出力に関して周波数帯域依存性や接合面積依存性に関して理論的考察及び評価を行い、120 GHz において 7 dBm 以上の出力が得られることを示している。更に光ミリ波信号としては平均光入力強度一定の条件でパルス列のほうが正弦波より UTC-PD のミリ波出力の点で有利であることを理論面及び実験結果

から実証している。

第 5 章は「PD バイアス変調方法」と題し、フォトダイオードのバイアス電圧にデータ信号を重畳することによりフォトダイオード出力を変調する「PD バイアス変調法」を提案する。はじめにフォトダイオード出力は空間電荷効果、接合容量の増加等により印加するバイアス電圧に依存して変化することを実証し、更にバイアス印加回路の最適化によりバイアス変調帯域は 10 Gbit/s まで増加可能であることを示している。以上の結果をもって PD バイアス変調法が広帯域データ伝送の変調法として有効であることを明らかにしている。

第 6 章は「アンテナ集積フォトダイオードモジュール」と題し、光電変換により発生したミリ波信号を空間に放射するために用いられるミリ波放射器（アンテナ集積フォトダイオードモジュール）について論じている。フォトダイオードの出力を効率よくアンテナまで伝送するために、アンテナ基板に対するフォトダイオードの実装方法（ハイブリッド集積、及びモノリシック集積）について各種の提案を行う。更に、これらの構造を有するモジュールが 100 GHz 超の周波数領域において実用的な出力（-10～10 dBm）を発生可能であることを示している。最後に、これらのアンテナ集積フォトダイオードモジュール技術の無線通信以外の応用についても紹介している。

第 7 章は「120 GHz 帯ミリ波無線リンクの構成と評価」と題し、第 2 章から第 6 章で示した光技術を使用したミリ波無線リンクについての実験結果を示している。本章でははじめにミリ波信号の発生、変調、伝送及び増幅に光技術を用いた無線リンクの構成を提案する。更に、無線リンクのミリ波信号の雑音が無線通信に要求される値より十分低い値が得られていることを理論的に示している。構築した無線リンクの伝送特性の評価を行い、300 GHz 以下のいわゆる電波を用いた無線通信としては最速となる 10 Gbit/s のデータ伝送が可能となることを実証している。同時に光 10 ギガビットイーサネット信号や 6 チャネル多重した非圧縮ハイビジョンテレビ信号の無線伝送実験など、各種応用例について記述している。

第 8 章は「結論」であり、第 3 章～第 6 章で展開した設計論／実験結果を包括的に議論し、光技術を使用したミリ波発生技術における将来の研究課題と展望について述べている。

以上を要するに本論文は、ミリ波技術と光技術を融合し、電子回路技術を応用することにより、100 GHz を超える周波数帯において電波の発生・変調・復調を可能とし、この周波数帯域を利用した広帯域無線通信システムや計測応用システム等の構築を世界に先駆けて可能にしたことを以って電子工学に貢献するところが少なくない。

よって本論文は、博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。