

# 審査の結果の要旨

氏名 細谷 健一

本論文は「共振器の結合強度制御に基づくマイクロ波・ミリ波発振器の低位相雑音化技術に関する研究」と題し、これまで十分な設計論が確立されてこなかった共振器の結合強度制御技術に着目することにより、ミリ波帯及び高域のマイクロ波帯における発振器の低位相雑音設計論の確立と、それに基づく低位相雑音化技術の提案を目的とするもので全8章で構成される。

第1章は、「序論」であり、マイクロ波・ミリ波発振器技術、及びその応用システムの歴史を俯瞰し、本研究の歴史的な位置付けを明確化する。また、それを踏まえた上で本論文の目的と意義を示している。

第2章は、「マイクロ波・ミリ波発振器技術の概要」であり、マイクロ波・ミリ波発振器技術を概観し、発振器技術全体の中での本研究の位置付けを明確化している。また本論である第4章から第7章における議論で必要となる発振器技術に関する基礎事項についても述べている。

第3章は、「マイクロ波・ミリ波発振器の応用システムと位相雑音の影響」であり、発振器の位相雑音が無線・有線通信及びレーダシステムへ与える影響について議論し、本研究の重要性を改めて提示する。また定量的な解析を行うことで、各システムにおける所要位相雑音性能を明示し、本研究における目標性能を明確化している。

第4章は、「マイクロ波負性抵抗発振器における共振器結合係数と位相雑音の関係に関する理論的研究」であり、マイクロ波・ミリ波発振器における位相雑音と共振器結合強度の関係を、特に設計上重要となる結合強度の小さな領域における位相雑音の複雑な振る舞いを含めて理論的に明らかにしている。本研究では発振方程式に立脚した Kurokawa の位相雑音理論に基づき、これをマイクロ波・ミリ波負性抵抗発振器へと適用することにより位相雑音と共振器結合強度の関係式を解析的に導出している。得られた解析式は、結合強度が非常に小さくなったときに、位相雑音の急激な劣化、発振出力急減、発振停止等の現象が起こることを示しており、この結果に基づき結合強度の設計指針を初めて明確化している。また結合強度を設計指針で示した最適値に高精度に制御することが重要であることを併せて指摘している。

第5章は、「 $(\lambda/4 \pm \delta)$ 長先端開放スタブ共振器を用いた HBT 平面回路発振器の低位相雑音化」であり、第4章で得られた結果の平面回路発振器への展開を行っている。小型・低コスト化に適する一方、低い無負荷 Q 値のために低位相雑音化が従来困難だった平面回路発振器において、第4章の理論解析結果に基づく新しい結合強度制御技術の提案により低雑音化を実現している。最適結合強度を実現可能な平面回路共振器として  $(\lambda/4 \pm \delta)$ 長先端開放スタブ共振器の提案を行っている。本共振器を 38GHz 帯 GaAs (砒化ガリウム) 系ヘテロ接合バイポーラトランジスタ (HBT: Heterojunction Bipolar Transistor) MMIC (Microwave Monolithic Integrated Circuit) 発振器に適用し、世界最高の位相雑音性能 ( $-114$  dBc/Hz @1 MHz 離調) を実証している。

第6章は、「GaAs 上マイクロストリップ線路に結合した 60GHz 帯誘電体共振器の解析とモデル化」であり、従来マイクロ波帯で用いられてきた DR とマイクロストリップ線路 (MSL: Microstrip Line) の結合形態では第4章で明確化した最適結合強度の実現がミリ波帯においては困難であることを示し、DR と MSL を交差させる新しい結合形態の提案を行う。理論解析と実験により、提案結合技術の有効性を検証するとともに DR-MSL 交差量の最適化を行っている。

第7章は、「60GHz 帯低位相雑音 PHEMT 誘電体共振発振器(DRO)の研究開発」であり、第6章の結果を基盤としミリ波帯 (60 GHz 帯) DRO の研究開発を行っている。まず、ミリ波帯動作可能な GaAs 歪系高電子移動度トランジスタ (PHEMT: Pseudomorphic High Electron Mobility Transistor) 及びその MMIC プロセスの開発を行うとともに、PHEMT の温度依存大信号モデルを提案している。この PHEMT 温度依存大信号モデルと第6章の温度・構造パラメータ依存 DR 共振系モデルを回路解析プログラムへ組み込むことにより、世界で初めて DRO 特性の温度・構造パラメータ依存性を予測可能な設計・解析手法の構築を行っている。以上述べた、DR-MSL 結合技術、DRO 設計・解析技術、デバイス・プロセス技術を統合し、世界最高性能 (位相雑音  $-90$  dBc/Hz @100 kHz 離調、出力 10.0 dBm、温度安定性  $+1.6$  ppm/°C) の 60 GHz 帯 MMIC DRO を実現している。

第8章は、「結論」であり、本論文全体及び各章の要旨と得られた主要な結論を纏める。また今後の課題と展望についても述べている。

以上のように本論文は、今後開拓が期待される超高周波帯を用いた無線・有線通信及びレーダシステムのキーデバイスである発振器について、まず共振器の結合強度の設計論を理論解析により確立し、そこで得られた結論に基づき平面回路及び立体回路における新しい結合強度制御技術の提案を行い、それらを適用した発振器の試作実験を通して従来技術では到達不可能だった低位相雑音特性の実証を行ったものであって、電子工学に貢献するところが大きい。

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。