

氏 名	中 山 正 敏
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	平成 3 年 3 月 28 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 電子工学専攻
学 位 論 文 題 目	ミリ波帯多素子準光学的発振器の研究
指 導 教 官	東北大学教授 水野 皓司
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 水野 皓司 東北大学教授 小野 昭一 東北大学教授 米山 務

論 文 内 容 要 旨

本研究は、準光学的共振器を用い、ミリ波帯での固体発振素子の電力合成を目的とした多素子発振器について検討、実験を行なったものである。

本論文第 1 章は序論として研究の背景について述べている。電磁波のスペクトラムのうちミリ波・サブミリ波は、大容量通信の分野への応用の可能性、計測に有用な周波数帯であること等の利点から近年研究が活発化してきている。この周波数帯の発振源として固体発振素子を用いた発振器は、小型、軽量、低電圧動作の点で優れている。しかし、その発振出力は周波数が高くなるにしたがって低下し、十分な出力が得られない事が多く、所望の電力を得るためには、電力合成の方法が非常に有用である。従来は導波管あるいは円筒型空洞共振器による電力合成が行なわれてきたが、周波数が高くなるにつれ共振器の寸法が小さく製作が困難となる点、壁面損失の増加により高い Q 値を得ることができなくなる、等の問題があった。これらに対して準光学的共振器を用いた発振器は導体損が小さく周波数が高くなっても大きな Q 値が得られる事、ミリ波サブミリ波帯では機械的な大きさが手頃であり製作が容易である事などの利点がある。

この様な背景をもとに、本研究では、凹面鏡と回折格子 (grooved mirror) を用いた準光学的なファブリペロ共振器の固体発振器への応用を提案し、その検討、実験を行なったものである。

本論文第 2 章「発振器構造に関する基礎的検討」では、本共振器の等価回路、複数の発振素子のファブリペロ共振器内部での配列の最適化について考察し、発振器の構造に関する検討を行なった。共振器は凹面鏡と回折格子から構成されている (図 1)。発振素子は回折格子に装荷する。ガン

ダイオードは回折格子の溝の中にマウントし、FETの場合は溝の表面にはんだ付けしている。発振素子には上下の金属板を通じてバイアス電圧が供給される。金属板は薄いテフロン膜によって上下の板の絶縁され、膜を通して高周波が漏れないように、短絡板にはチョーク構造が設けられている。溝の深さは連続的に変化させることができる。

この発振器の特徴として、(1)発振素子を二次元的に多数個並べることができ、数多くの素子によるコヒーレントな電力合成が可能である、(2)素子から発生する熱を金属板によって放熱することができるので許容熱損失が大きい。(3)発振器全体の大きさが波長に比べて大きく、ミリ波帯・サブミリ波帯においては取り扱いやすい大きさになる、(4)バイアス回路が簡単である、(5)機械的に強い構造であること、などが挙げられる。

発振素子を装荷しない状態での共振器の共振周波数、Q値の計算、測定を比較し共振器の等価回路を決定した。共振周波数は計算から求めた値とよく一致し、等価回路は特性インピーダンスの異なる2つの平行平板線路で表すことができることを示した。Q値は、回折格子の溝深さが共振波長の $1/4$ の場合は小さく、 $1/2$ の場合は大きい(本測定では11GHzで2000)。これは前記の等価回路において回折格子の導体損を考慮すると説明できる。

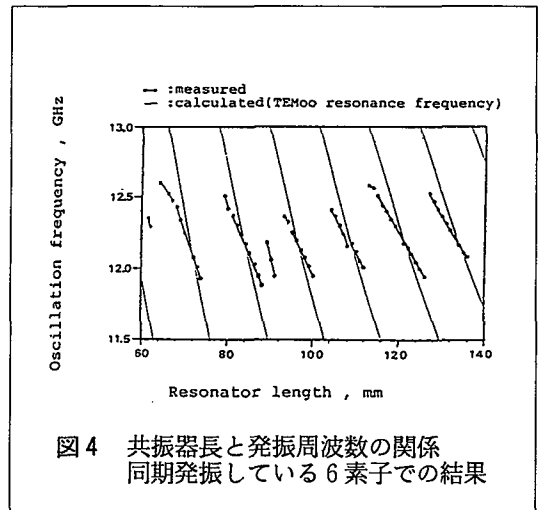
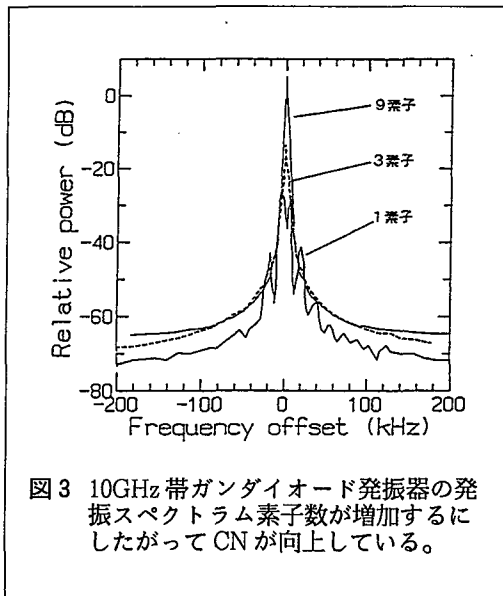
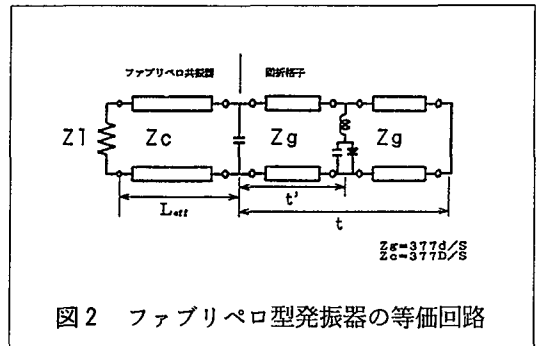
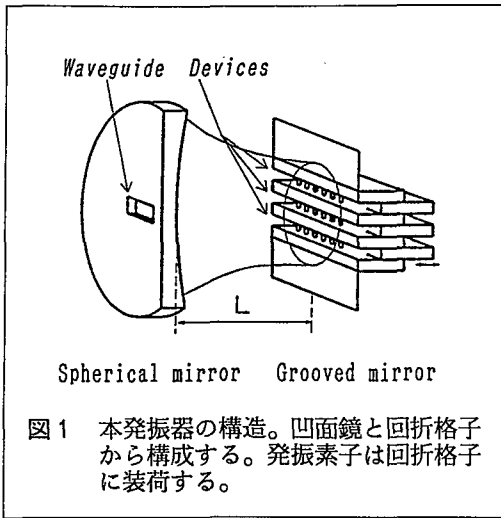
共振器の基本モードを効率よく励振するための発振素子の最適配列についてのシミュレーションを行った。この計算はキルヒフォッフ・ホンヘンスのスカラ(近似)回折公式を用い、発振素子による増幅を考慮して、2枚の鏡の間を往復する電磁波をシミュレートするものである。基本モードを効率よく励振するために最適の素子配列(間隔)があること、その結果は発振素子がサチレーションをおこしている領域での入力-出力特性によって決定される事を示した

第3章「10GHz帯ガンダイオード発振器」では、発振素子としてガンダイオード用いた10GHz帯のモデル実験について報告している。まず回路インピーダンスのよく分かっている導波管型共振器を用いてガンダイオードの発振特性(リーケ図)を求め、その測定結果と、第2章で求めた共振器の等価回路から、発振器の回路シミュレーションを行ない議論した(図2)。発振器の等価回路は図で示される。このシミュレーションから回折格子内部でのガンダイオードの最適位置を決定した。その後、発振器の実験結果について報告している。本実験ではガンダイオード18素子による同期発振、電力合成に成功した。得られた出力電力は、等価回路のシミュレーションから予想される値とほぼ一致し、100%に近い効率で電力合成を行なうことに成功した。これは設計に用いた等価回路が妥当なものであることを示している。またコヒーレントな電力合成(同期発振)によって発振スペクトラムのCN比が向上する現象が確認された(図3)。この現象は信号はコヒーレントに合成されるのに対し、ノイズはインコヒーレントであるため大きくならないためである。また共振器長を変化させることで、発振周波数を10%変化させることができ、その周波数は基本モードの共振周波数とよく一致する。さらに共振器の内部に微小な電波吸収体を挿入し、そのときの出力電力の減少を測ることで横モードパターンの測定を行ない、この発振が基本モードであることを確認した。

第4章は「12GHz帯FET発振器」である。GaAs MESFET, HEMT（高電子移動度トランジスタ）, HBT（ヘテロ接合バイポーラトランジスタ）等の3端子素子は直流から高周波に対しての変換効率が大きく、発振の制御が行ないやすい等の利点からマイクロ波から周波数の低いミリ波においても有用な発振素子となってきた。本共振器においても発振素子としてFETなどの3端子素子を用いることは重要なことである。本研究ではGaAs MESFETを発振素子として用い、12GHz帯において6素子での同期発振、電力合成の実験に成功した。FETは回折格子の表面に装荷される。第2、3章で決定した等価回路と同様な等価回路を用いて、本発振器の発振周波数について検討を行なった。ゲートから入力された波がFETによって増幅されドレイン端子から共振器に帰還すると考えて発振周波数が説明できる。ガンダイオード発振器と同様に同期発振によって発振スペクトラムのCN比が向上する現象が見られた。共振器長を変化させると、発振周波数は5%にわたって変化し、基本モードの共振周波数と比較的良く一致する（図4）。また、ゲートのバイアス電圧によって発振周波数は40MHz変化した。バイアス電圧の変化に対して直線的に変化し、FM変調の応用が考えられることを述べた。

第5章「50GHz帯ガンダイオード発振器」ではマイクロ波帯のモデル実験の結果をもとに、50GHz帯においてガンダイオード発振器を製作し行なった実験について述べた。本実験ではガンダイオード3素子を同一の溝に装荷し同期発振に成功した。10GHz帯での実験と同様に、同期発振によるスペクトラムのCN比の向上が観測された。また共振器長を変化させることで、発振周波数は4%にわたって変化した。

第6章は結論である。



審 査 結 果 の 要 旨

電磁波のスペクトラムのうち短ミリ波・サブミリ波領域では、現在小型で使い易い実用的な電磁波源はほとんど無いと言ってよい。本論文は、この領域における実用的な固体発振器を開発すべく、電力合成の可能な準光学的共振器（回折格子付きファブリ・ペロー共振器）を用いた多素子デバイスについて研究した成果をまとめたもので、全編6章よりなる。

第1章は序論である。

第2章では、本発振器の構造に関して基礎的な検討を行っており、共振器の等価回路、また発振素子の最適配列に関する理論的考察について述べている。

第3章は、マイクロ波帯におけるモデル実験について述べたものである。発振素子としては10GHz帯のガンダイオードを用い、まずダイオードのアドミタンスを測定し、これを基に回折格子の設計を行なっている。次いで、発振実験では発振素子の個数の増加とともに発振スペクトラムのCN比が向上することを示し、コヒーレントな電力合成が出来ていることを明らかにしている。また、発振周波数が第2章で検討した等価回路で説明し得ることを述べ、ガンダイオード18個での同期発振・電力合成に成功している。これらは重要な知見である。

第4章は、発振素子として12GHz帯のFETを用いた電力合成の実験結果とそれに対する理論的検討について述べたものである。回折格子表面にFETのような三端子素子を装荷したとき等価回路を示し、それによって発振周波数が説明できることを明らかにしている。

第5章では、第2章の結果を基に、ミリ波（50GHz）帯のガンダイオードを用いた発振器の実験を行ない、その結果について述べている。3個のガンダイオードの電力合成に成功し、本発振器構造がミリ波帯で有用であることを実証している。また出力結合の方式として、結合率が可変なファブリ・ペローカップラーを用いた準光学的な手法を採用し、カウスビームを直接取りだし得ることを示している。

第6章は、結論である。

以上要するに本論文は、ミリ波帯の実用的な固体電磁波源として多素子の電力合成の可能な準光学的ファブリ・ペロー構造に着目し、その理論的解析、マイクロ波帯におけるモデル実験を通して、ミリ波帯での発振器の設計論を確立したもので、電子工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。