

## ホーンアンテナアレーを用いた準光学的ガンダイオード発振器

裴 鐘石<sup>† a)</sup> 真寄 弘行<sup>††</sup> 鷓生 高德<sup>†††</sup> 水野 皓司<sup>†</sup>

Quasi-Optical Gunn Diode Oscillator using a Horn Antenna Array

Jongsuck BAE<sup>† a)</sup>, Hiroyuki MAZAKI<sup>††</sup>, Takanori UNOU<sup>†††</sup>, and Koji MIZUNO<sup>†</sup>

あらまし ミリ波・サブミリ波帯において、多数個の固体素子からの電力をコヒーレントに空間合成する方法として、ファブリ・ペロー共振器内に、導波管アレーを組み込んだ準光学的発振器を提案し、その有用性を理論及び実験的に検証した。まず、等価回路を用いた発振器設計とその正当性の実験的検証、そして60 GHz帯発振器の製作と進めた。この結果、9個のガンダイオードのコヒーレントな電力合成に成功し、最大出力1 W、電力合成効率57%を達成した。この実験結果より、本発振器が9個といった少ない素子アレーを用いても、 $\pm 6^\circ$ 以下の広がり小さい実用的な出力ビームを作り出せることを実証した。

キーワード ミリ波、空間電力合成、準光学的、発振器

## 1. ま え が き

準光学的な共振器を用いた空間電力合成法は、ミリ波、特に100 GHzを超える短ミリ波帯において高出力・高安定な固体発振器を実現する有力な方法の一つである[1]。この方式は、ミリ波帯で動作する固体素子を2次元的に多数個配列し、その電力をファブリ・ペロー共振器等により空間的に、そしてコヒーレントに合成する。したがって、周波数増加に伴う固体素子の低出力特性を補償し、かつ回路のQ値を高く維持できる。現在まで、この特徴を生かした金属格子鏡型ファブリ・ペロー発振器[2]、ファブリ・ペロー共振器の軸対称モードを利用し準光学的電力合成器[3]、グリッド増幅器[4]、そして種々のアクティブアンテナアレー[5]など、構造の異なる多くの準光学的発振器あるいは増幅器の開発が各所にて進められている。

一般に準光学的回路を用いた電力合成器は、グレーティングロブによる放射損失が生じないように固体素子を波長以下の間隔に周期的に配列する。米国のMinkは、このような2次元素子アレーを組み込んだ

ファブリ・ペロー共振器を理論的に解析し、一定の間隔で並べられた2次元素子アレーを用いた場合、少なくとも $25(5 \times 5)$ アレー以上の素子が、その放射電力を共振器モードへ80%以上変換するため必要であると指摘している[6]。

種々の固体素子のなかでガンダイオードやインパットダイオードは、100 GHzを超える短ミリ波帯でも数mW以上の比較的高い出力をもち、20個かそれ以下の電力合成で一般的な応用に必要な十分な出力を得ることができる。しかし、このような小規模な素子アレーに従来の電力合成法を適用した場合、共振器モードとの理論的な結合率が減少するだけでなく、有限断面をもつ実際の共振器では回折損失が増大し、全体の電力合成効率が大きく低下する。更に、小規模素子アレーから得られる出力ビームは広がり大きいため、一般的な応用には不向きである[7]。

このような小規模素子アレーを用いても、電力合成効率の低下を最小限にとどめ、広がり小さい実用的な軸対称出力ビームを得ることを目的に、筆者らが提案したのがホーンアンテナアレーを用いた準光学的共振器である[8]。

本論文では、素子部のアンテナに波長以上の開口をもつ角錐ホーンアンテナを導入したホーンアンテナ結合型準光学的共振器について、理論及び実験的に検討する。まず、伝送線路理論に基づき共振器の等価回路を構築し、それを40～60 GHz帯で実験的に検証した。次に、この等価回路を用いて60 GHz帯で動作する共振

<sup>†</sup> 東北大学電気通信研究所，仙台市  
Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Sendai-shi, 980-8577 Japan

<sup>††</sup> 西日本旅客鉄道株式会社京都支社京都電気区，京都市  
Kyoto Electric Engineering Dept., Kyoto Branch Office, West Japan Rail Way Company, Kyoto-shi, 601-8411 Japan

<sup>†††</sup> 株式会社デンソー開発部開発2室，刈谷市  
Denso Corporation Corporate R&D Dept., Kariya-shi, 448-8661 Japan

a) E-mail: bae@riec.tohoku.ac.jp

器を設計, 製作し, 9個のガンダイオードを用いた電力合成実験を行った. その結果, 周波数 60 GHz 帯で最大出力 1 W, 電力合成効率 57% を得た. また, その出力の主ビームは,  $\pm 6^\circ$  と広がり小さい基本ガウスビーム形状をもつものであった.

## 2. 共振器構成と特徴

### 2.1 構成

図1にホーンアンテナ結合型共振器の概略図を示す. 共振器は, 凹面鏡, 両端に角錐ホーンアンテナをもつ基本モード導波管アレー, そして反射率が可変の出力結合器から構成される. 固体素子(ガンダイオード)は導波管の中央部に装着する. アンテナアレーは, 軸対称な出力ビームを得るため, 幅  $a$  の正方形開口をもつ角錐ホーンを水平及び垂直方向に同数  $N$  個を配列する. 各ダイオードからの電力は, ホーンアンテナを通して, 主に凹面鏡とアンテナアレー間で空間的に合成される.

この共振器の特徴は, 動作波長以上の開口をもつホーンアンテナを用いることで, 少ない素子数でも実効的な放射面積を大きくし, 準光学的共振器の特徴を保ちながら, 広がり小さい出力ビームを得ることができる点にある. また, 金属導波管アレーは放熱効果に優れているため, 直流-高周波の変換効率が最大でも6%以下と低いダイオード素子を多数個用いても安定な連続動作が可能となる.

### 2.2 モード変換率

アンテナアレーからの全放射電力のうち, 基本ガウスビーム成分の割合を計算することで, アンテナアレー開口面と凹面鏡とで構成されるファブリ・ペロー共振器との結合度を理論的に見積もってみた. 計算は, アンテナアレー開口面上の電磁界を, ファブリ・ペロー共振器の固有関数系を構成するエルミット多項式で展開し, 全電力のうち, 共振器の  $TEM_{00}$  モードとなる基本ガウスビーム成分の割合を求めることを行った[6]. この計算では, 次の仮定を行った.

- (1) アンテナは, 開口効率0.81の余弦振幅分布をもつ理想的な角錐ホーンである.
- (2) すべてのアンテナが同じ振幅分布をもつ.
- (3) ガウスビームのビームウエストは, アンテナアレーの開口面上にある.
- (3)は, 理想的な角錐ホーンの開口面上では, 位相が一定であることを考慮し仮定した.

図2は,  $3 \times 3$ の角錐ホーンアンテナアレーに対する計算結果である. 横軸は, アンテナ開口面上における

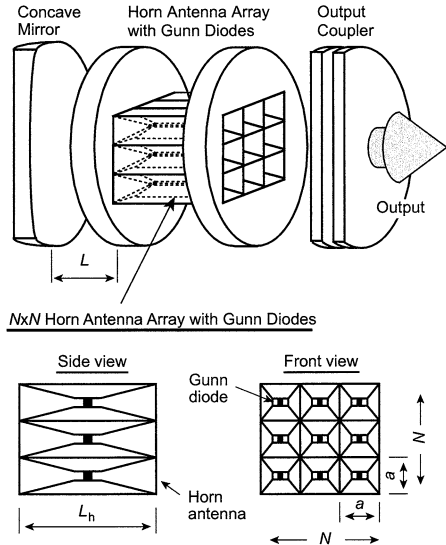


図1 ホーンアンテナアレー結合型準光学的共振器の構成  
Fig. 1 Configuration of the quasi-optical oscillator using a horn antenna array.

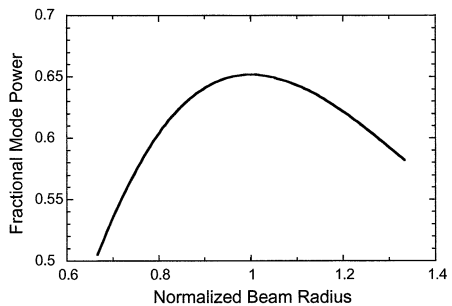


図2 角錐ホーンアレーによる基本ガウスビーム ( $TEM_{00}$  モード) への電力配分率  
Fig. 2 Fractional power into the fundamental Gaussian beam ( $TEM_{00}$  mode).

$TEM_{00}$  モードの基本ガウスビーム半径 (スポットサイズ)  $w_0$  をアンテナアレーの半分の幅  $N \times a/2$  (図1参照) で規格化したものである. この  $w_0$  の値は, 動作波長  $\lambda$ , ホーンアンテナと凹面鏡の間隔  $L$ , そして凹面鏡の曲率半径  $R$  により変化し, 式(1)により決定される[9].

$$w_0^2 = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{L(R-L)} \quad (1)$$

図2の結果より, アンテナアレーからの放射波は, ビーム直径がほぼアレー幅と同じ基本ガウスビームと最も良く結合し, その電力変換率が約65%であることがわかる. 図2で示した変換率は  $3 \times 3$ の素子アレーに

対するものがあるが、素子数を  $2 \times 2$  から  $7 \times 7$  まで変えてもその値は2%以下の範囲でほとんど同じであった。

図2で示した電力変換率を高め、アンテナアレーとファブリ・ペロー共振器との結合を強めるためには、可能な限り開口効率の高いホーンアンテナを用いることが必用となる。もし、開口効率1の理想的なホーンアンテナを用いることができたと仮定すると、その最大変換率は約84%となる。これは、Minkが  $5 \times 5$  以上の素子アレーに対し、その全放射電力のうち  $TEM_{00}$  モードへ変換される割合を計算した結果とほぼ一致する。

今回、解析と製作の容易さから、ホーンアンテナとして角錐ホーンを採用した。しかし、図1の構成図からわかるとおり、誘電体レンズを含む誘電体装荷型ホーンやコルゲートホーンなどに変更可能である。基本ガウスビームと最も結合率の高い最適なホーンアンテナアレー形状が何かを調べることは、今後の課題である。

### 3. 共振器の設計

#### 3.1 等価回路

図3に本共振器の設計用に考案した等価回路を示す。この回路は、次の仮定に基づいている。

- (1) 共振器の導波管部を除く空間部分では  $TEM_{00}$  モードで動作する。
- (2) ホーンアンテナ開口部での反射はない。
- (3) ガンダイオードを含む各導波管が同じ動作条件で働く。

図3において、 $X_L, X_C$  は、バイアスポストのリアクタンス、 $Z_{10}, Z_h, Z_0, Z_L$  は、基本モード導波管、ホーン開口部、空間 ( $\sim 377 \Omega$ )、出力結合器部の各インピーダンスである。 $Z_m$  は、凹面鏡のインピーダンスであるが、この部分に2.2で述べたモード変換における損失分を考慮し値を決定する。 $Z_G'$  は  $Z_G/(k_{p1})^2$  で与えられ、 $Z_G$  はガンダイオードの動作インピーダンス、 $k_{p1}$  はポスト結合係数である。 $k_{p1}, X_L, X_C$  の各値は、使用する導波管及びポストの形状が決まれば、Eisenhartらにより与えられた理論式[8]を用いて計算できる。

#### 3.2 等価回路の検証

図3に示した等価回路の正当性を40~60 GHzのUバンドで実験的に検証した。図4に使用した測定装置の概略図を示す。この実験では、共振器に導波管1個のみ装着し、ダイオード装着場所に相当する部分にWILTRON社製360Bベクトルネットワークアナライザの同軸ケーブルを差し込んで共振器のインピーダンス

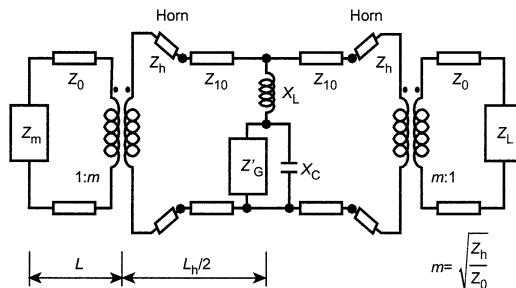


図3 等価回路  
Fig. 3 Equivalent circuit.

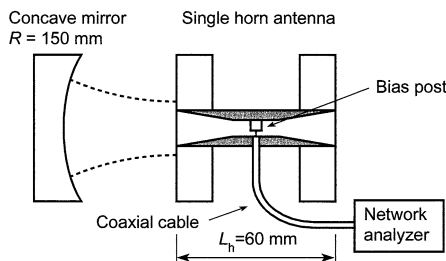


図4 共振器インピーダンスの測定装置概略図  
Fig. 4 Experimental set-up for measurement of the resonator impedance.

を測定した。この測定方法は、以前に筆者らがガンダイオードのインピーダンスを測定した方法とほぼ同じである[11]。実験の容易さから、出力結合器は用いていない。使用した導波管の寸法は、基本モード導波管部の断面寸法が高さ1.6 mm、横幅4.8 mm、ホーン開口  $a=15$  mm、全長  $L_h=60$  mm、テーパ長は20 mmである。導波管部には、波の閉じ込め効果を高めるためにホーンアンテナ挿入用の正方形の穴を空けた直径100 mmの平板金属反射鏡を取り付けてある。バイアスポストは直径0.8 mmの金属円柱を用いた。凹面鏡の曲率半径は150 mmである。

図5に、40~60 GHzまで周波数を変化させ測定した共振器インピーダンスを示す。測定は、凹面鏡とホーンアンテナとの距離  $L$  を75 mmに固定して行った。このスミスチャートの規格値は  $50 \Omega$  である。この図には、等価回路により理論的に求めた値も合わせて示してある。等価回路における  $Z_m$  は、2.2で述べたモード変換率の平方根の値が、凹面鏡の反射率となるように設定し用いた。

図5の結果よりわかるとおり、測定したインピーダンス変化が理論とよく合っている。ただし、周波数が50~60 GHzの間で理論値よりも測定値がチャート上で

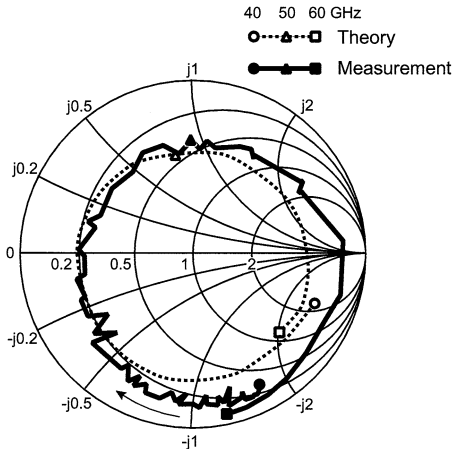


図5 共振器インピーダンスの理論及び測定結果  
Fig. 5 Theoretical and measured resonator impedance.

半径の大きな軌跡をもつ。これは、アンテナと空間の結合率が理論的に予想した値よりも周波数増加に伴い高くなっていることを示している。理論では、TEM<sub>00</sub>モードだけに着目しZ<sub>m</sub>を決定しているが、実際には、より高次のモードに分配された電力の一部も導波管に戻る。この分の寄与により理論との誤差が生じたものと考えられる。

以上の結果から、図3の等価回路を用いて、ホーンアンテナ結合型共振器の基本的な発振特性を予測可能であるとの結論を得た。ただし、今回の検証は、導波管1個のみ用いた共振器によるものであるため、導波管アレーを用いた共振器に適用可能かは更なる実験的検証が必用となる。これは、実際のガンダイオードを用いた実験を通して行った。

#### 4. 実験装置

ホーンアンテナ結合型発振器の有用性を検証するため、60 GHz帯でガンダイオード9個(3×3アレー)を用い発振実験を行った。図6に実験装置の概略図を示す。使用したガンダイオードは、Vバンドで動作するジャパンエナジー社製のInPタイプで、60 GHzで200 mWのカタログデータ値をもつ。このガンダイオードの動作アドミタンスY<sub>d</sub>は、60 GHzにおいて(-19.6-j24.4)~(-5.4-j22.5) [mS]の間を印加高周波電圧に依存し変化する[9]。このY<sub>d</sub>に対し、60 GHzを中心に発振するように等価回路を用いて、共振器のアドミタンスY<sub>c</sub>がY<sub>c</sub>+Y<sub>d</sub>=0の発振条件を満足するように設計した。製作した共振器の寸法は次のとおりである。ホー

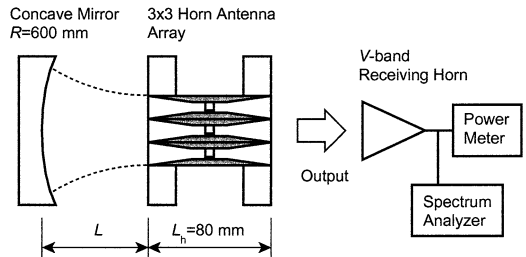


図6 実験装置概略図

Fig. 6 Schematic diagram of the experimental set-up.

ンアンテナ付き導波管：L<sub>h</sub>=80 mm, a=15 mm, 内部の基本モード導波管の高さ1.2 mm, 横幅3.8 mm, テーパ長35 mm, バイアスポスト:直径1.9 mm, 凹面鏡: R=600 mm.

導波管の高さをVバンド標準導波管の高さ(1.9 mm)より低くしたのは、導波管のインピーダンスを下げ、ダイオードとの整合性を良くするためである。ホーン部のテーパ長は、電力反射率が2×10<sup>-3</sup>以下となるように決定した。凹面鏡は、図2で得られた最適な基本ガウスビーム半径w<sub>0</sub>=22.5 mmにできるだけ近い値が得られるよう選択した。この共振器の各寸法は、3.2で述べた等価回路検証用Uバンド共振器とは大きく異なり、そのインピーダンスの値も異なるが、等価回路における各パラメータの値は、両者とも3.1で述べた方法に従い決定した。

この実験では出力結合器は用いず、発振器の発振周波数及び出力を、ホーンアンテナアレーから72 cm離れた位置に置いたVバンド標準ホーンアンテナで受け、スペクトラムアナライザ(HP-8563A)とアンリツ社製のパワーメータ(MP716A, ML4803A)を用いて測定した。

#### 5. 実験結果

電力合成型の発振器では、固体素子相互の注入同期現象[12]を利用するため、特性のそろった素子を使うことが特に重要となる。そこで、使用する9個のガンダイオードの個々の特性のばらつきを、共振器内での発振周波数範囲の違いを測定することで調べた。その結果を図7に示す。この結果は、共振器内に装着された9個のガンダイオードに対し、個別に同じ直流バイアスを与え、凹面鏡とアンテナアレーの同じ距離変化に対し、得られた発振周波数範囲をプロットしたものである。この結果から、#1~#9までの9個のガンダイオードが比較的良好な特性をもち、特に約60~62

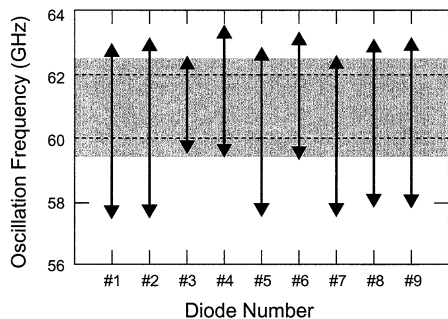


図7 個々のガンダイオードの発振周波数範囲  
Fig. 7 Oscillation frequency ranges of the Gunn diodes.

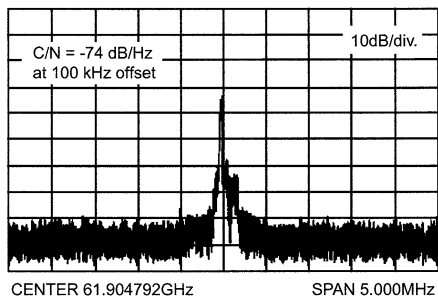


図8 ガンダイオード単体での発振スペクトラム  
Fig. 8 Frequency spectrum of the oscillator with one Gunn diode.

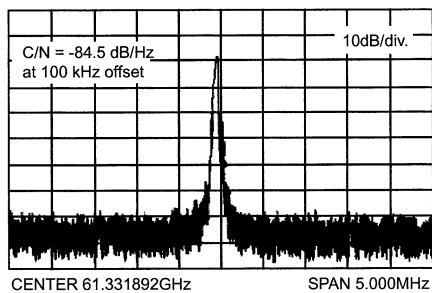
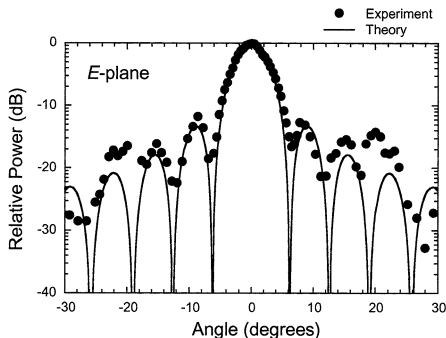


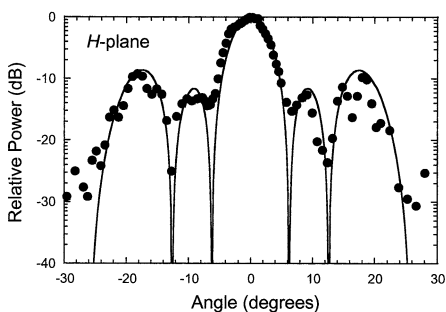
図9 ガンダイオード9個での発振スペクトラム  
Fig. 9 Frequency spectrum of the oscillator with the nine Gunn diodes.

GHzの間で共通して発振することがわかった。

図8は、共振器内でダイオード1個のみ動作させたときの代表的な発振スペクトラムである。このときのキャリア対ノイズ(C/N)比は、オフセット周波数100kHzで-74dB/Hzであった。これに対し、すべてのダイオードを動作させたときの発振スペクトラムを図9に示す。このスペクトラムから測定されたC/N比は-85.5dB/Hzとなり、約10dB以上改善されていることがわかる。この結果は、9個のガンダイオードからの出力が、共振器内でコヒーレントに合成されていることを示し



(a)



(b)

図10 出力放射パターン

Fig. 10 Output radiation patterns for *E*- (a) and *H*-planes (b).

ている。

図10は、発振器の(a)*E*面と、(b)*H*面における出力放射パターンを測定した結果である。縦軸は、パターン中心でのパワー測定値60mWで規格化されている。測定周波数は61.3GHzである。図中の実線は、すべてのホーンアンテナが同相で同じ振幅分布をもつものとして理論的に求めた放射パターンである。理論的に予想されたとおり、本発振器出力が $\pm 6^\circ$ の広がり小さい軸対称の主ビームをもつことがわかる。*H*面の放射パターンにおいて、角度が $\pm 19^\circ$ 付近で比較的大きなサイドローブが表れているが、これは、15mm周期のアンテナアレーによる $\pm 1$ 次のグレーティングローブの角度と一致している。このグレーティングローブは、理論的には、*E*面には現れないはずである。なぜなら、ホーンアンテナがもつ*E*面指向性において、この角度がちょうど零点にあたるためである。しかし、図10(a)からわかるとおり、*H*面ほどではないがわずかにピークをもっている。これは、製作誤差による各ホーンアンテナの不均一性により、9個のホーンすべてがこの角度で零点とはならないためと考えられる。

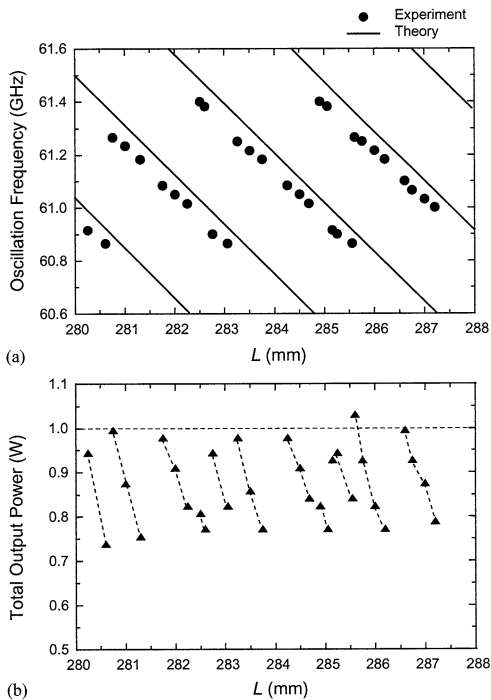


図 11 発振周波数及び出力特性

Fig. 11 Measured oscillation frequencies (a) and output power (b).

図 10 において、発振器の出力パターンが理論とよく一致していることから、理論放射パターンを用い、主ビーム中心で測定したパワー値から発振器の全出力パワーを求めることができる。このパワー換算では、まず、受信アンテナに用いた標準角錐ホーンアンテナの開口寸法 (36.4 mm × 27.7 mm) と利得 (23.3 dB@61 GHz) から受信アンテナの実効開口面積を求め、次に、角度に依存した放射パワー分布 (理論値) を全放射空間で数値的に積分し、全放射パワーに対する受信パワーの割合、つまりパワー換算計数を求める。最後に、受信パワーとこの換算計数から、全放射パワーを計算する。図 10 の測定結果に対し、得られた校正計数は 17.2 であった。したがって、60 mW の受信パワーに対し、全放射パワーは 1.03 W と見積もられた。

ガンダイオード単体で 200 mW、9 個で 1.8 W のカタログデータ値を、達成できる最大パワーと考え、これを電力合成効率 100% と定義すると、出力パワー 1.03 W は、電力合成効率 57% に相当する。また、同様の計算から、この全出力パワーのうち、主ビームに含まれるパワーは約 680 mW であることがわかった。この主ビームは、その位相及び振幅分布が基本ガウスビームと 95

%以上の割合で一致するものである。

図 11 は、凹面鏡とアンテナアレーの距離  $L$  に対し、(a) 発振周波数と (b) 全出力パワーの変化を測定したものである。この結果は、図 10 の放射パターンをもつ発振モードに対するものである。それ以外のモードでの発振もまれに観測されたが、その検出パワーは極端に低いものであった。(a) において、黒丸が測定値、実線が等価回路を用いて計算した発振周波数である。理論的な  $L$  の値は、実験値より約 0.45 mm 長く見積もられているが、その周波数変化は実験とよく一致している。この  $L$  の差異は、全体の共振器長がダイオードが装着された導波管部の実効長を入れて約 330 mm であることを考慮すると、ほぼ実験誤差の範囲内にある。このことから、図 3 で示した等価回路が、導波管アレーを用いた共振器に対しても有効であることがわかる。

図 11(a) より、本発振器が 60.9 ~ 61.4 GHz の周波数範囲で発振することがわかる。この同調範囲は、素子単体で発振させた場合の約 1/4 である。この同調周波数範囲の減少は、さきに述べたダイオードの特性のばらつきに起因していると考えられる。

図 11(b) において、出力パワーは、 $L$  を減少させると一方向に上昇しているが、そのピーク値が表れていない。これは、ガンダイオードがもつ利得に対し、共振器の負荷が最適化されていないことを暗示している。しかし、得られた発振点での出力は、ほとんどの発振周波数で 0.7 W を超えており、ホーンアンテナ結合型共振器が、ミリ波帯における比較的小規模ダイオードアレーの効率的な電力合成器として有用であることを示している。ガンダイオードのピヤスポスト形状の最適化及び出力結合器の導入を今後行うことで、更なる出力向上が期待される。

## 6. む す び

ミリ波帯で動作するガンダイオードを用いた空間電力合成法として、ファブリ・ペロー共振器内に基本モード導波管アレーを組み込んだホーンアンテナ結合型準光学的共振器を開発した。この電力合成方式は、使用する素子数が数十個以下と少なくとも、広がり小さい軸対称の主ビーム出力を可能にするものである。60 GHz 帯で動作する共振器を等価回路を用いて設計、製作し、9 個のガンダイオードの電力合成を行った結果、周波数 61.3 GHz で電力合成効率 57%、最大連続発振出力 1 W を得た。また、その出力ビームは、 $\pm 6^\circ$  以下の広がり角をもつ軸対称ビームである。以上の結果は、

本ホーンアンテナ結合型準光学的電力合成器が，実用的な出力ビームをもつミリ波帯高出力発振器として有用であることを示している。

謝辞 本研究に関し，数多くの御助言を頂いた東北大学電気通信研究所の横尾邦義教授に深謝致します。本研究は，総務省の周波数資源開発公募研究による成果の一部をまとめたものである。

### 文 献

- [1] R.A. York and Z.B. Popovic, Active and Quasi-Optical Arrays for Solid-state Power Combining, Wiley, New York, 1997.
  - [2] K. Mizuno, T. Ajikata, M. Hieda, and M. Nakayama, "Quasi-optical resonator for millimeter and submillimeter wave solid-state sources," Electron. Lett., vol.24, pp.792-793, 1988.
  - [3] M. Sanagi, S. Nogi, K. Fukui, and K. Watanabe, "Fabry-Perot Multiple-Device Oscillator Using an Axially Symmetric Mode," IEICE Trans. Electron., vol.E78-C, no.8, pp.949-956, 1995.
  - [4] R.M. Weikle II, M. Kim, J.B. Haker, M.P. Delisio, Z.B. Popovic, and D.B. Rutledge, "Transistor Oscillator and Amplifier Grids," Proc. IEEE, vol.80, no.11, pp.1800-1809, 1992.
  - [5] Y. Qian and T. Itoh, "Progress in Active Integrated Antennas and Their Applications," IEEE Trans. Microwave Theo. Tech., vol.46, no.11, pp.1891-1998, 1998.
  - [6] J.W. Mink, "Quasi-Optical Power Combining of Solid-State Millimeter-Wave Sources," IEEE Trans. Microwave Theo. Tech., vol.MTT-34, no.2, pp.273-279, 1986.
  - [7] A.C. Davidson, F.W. Wise, and R.C. Compton, "A 60-GHz IMPATT Oscillator Array with Pulsed Operation," IEEE Trans. Microwave Theo. Tech., vol.41, no.10, pp.1845-1850, 1993.
  - [8] J. Bae, T. Uno, H. Mazaki, T. Fujii, F. Takei, and K. Mizuno, "A Horn Antenna Coupled Quasi-Optical Oscillator with Gunn Diodes at Millimeter Wavelengths," the 22th Int. Conf. on Infrared and Millimeter Waves, T3.4, pp.247-248, Virginia, USA, 1997.
  - [9] H. Kogelnik and T. Li, "Laser Beams and Resonators," Proc. IEEE, vol.54, no.10, pp.1312-1329, 1966.
  - [10] R.L. Eisenhart and P.J. Khan, "Theoretical and Experimental Analysis of a Waveguide Mounting Structure," IEEE Trans. Microwave Theo. Tech., vol.MTT-19, no.8, pp.706-719, 1971.
  - [11] J. Bae, Y. Aburakawa, H. Kondo, T. Tanaka, and K. Mizuno, "Millimeter and Submillimeter Wave Quasi-Optical Oscillator with Gunn Diodes," IEEE Trans. Microwave Theo. Tech., vol.41, no.10, pp.1851-1855, 1993.
  - [12] K. Kurokawa, "Injection Locking of Microwave Solid-State Oscillators," Proc. IEEE, vol.61, no.10, pp.1386-1410, 1973.
- (平成13年12月27日受付, 14年4月5日再受付)



裴 鐘石 (正員)

昭51朝鮮大・工・電子卒。昭58東北大助手。以来，ミリ波・サブミリ波の準光学的回路を用いた発生，変調，及び応用の研究開発に従事。現在，東北大電気通信研究所助教授。工博。



真寄 弘行

平6東北大・工・電子卒。平8同大大学院修士課程了。同年西日本旅客鉄道(株)入社。現在，鉄道運行管理システム及び信号システムの維持・開発に従事。



鵜生 高德

平8東北大・工・電子卒。平10同大大学院修士課程了。同年(株)デンソー入社。以来，車載電子機器等における電磁波干渉問題に関する研究に従事。



水野 皓司 (正員)

昭38東北大・工・電子卒。昭43同大大学院博士課程了。東北大助手，助教授を経て，昭59同大電気通信研究所教授。昭47ロンドン大客員研究員，平2カリフォルニア工科大，ロンドン大客員教授。平5IEEEフェロー。平2～10理化学研究所フォトダイナミクス研究センターチームリーダー兼務。ミリ波，サブミリ波デバイスの研究開発に従事。工博。昭59科学計測振興会賞，平10KJButton賞受賞。