

1 目的

マイクロ波回路の立体回路(波導管, マジックT)の特性とマイクロ波ホーンアンテナによる伝送の仕組みを実験により理解する.

2 予習

・マイクロ波発生装置である反射型クライストロンとガンダイオード発振器について調べよ.

クライストロンとは, マイクロ波用真空管の一種で, 速度変調管とも呼ばれる. その中でも, 反射形クライストロンは発振専用のものであり, 空洞共振器を単独で使い, 一つの共振器を高周波電場の入力と出力として同時に用いて反射電極で電子を逆行させて共振によるマイクロ波を発生させる.*¹

ガンダイオードは, ガリウム砒素 (GaAs) の半導体に高電圧をかけたときに振動電流が発生するガン効果を利用した, マイクロ波発振素子. 通常のダイオードがP型半導体とN型半導体から構成されるのに対し, ガン・ダイオードはN型半導体のみにより構成される.*²

・マイクロ波回路のアイソレータ, クリスタルマウント, マジックTについて構造や動作原理を調べよ.

アイソレータ: アンプ (増幅器) の後段に配置することにより, 折り返しがアンプ (増幅器) の出力ポートに戻らないよう遮断, アンプ (増幅器) を保護する部品.*³

クリスタルマウント: マイクロ波検出用のダイオード. 交流マイクロ波信号を直流に変換する整流機能を有する.*⁴

マジックT: マジックT型導波管は, 分岐が電界面に平行に出るE面T分岐導波管と磁界面に平行にでるH面T分岐導波管を組み合わせた導波管.*⁵

3 概要

高周波伝送には一般に同軸ケーブルが使用されるがマイクロ波の周波数では表皮効果による損失が大きいため断面寸法比が2:1の方角導波管が使用される. 導波管は長辺の寸法aの二倍の長さに等しい遮断波長 λ_c を持ち, 広域通過フィルタの特性をもつ.

4 実験手順

1. 定常波測定器にクリスタルマウントをクリップで接続する. マイクロ波発振専用電源のMOD SELECTORをCWにし電源投入後, 電源電圧計が9Vであることを確認する. クリスタルマウントの出力を測定し, マイクロ波の発生を確認する.
2. 空洞周波数計のつまみを時計方向に回しきった状態から反時計方向に回転させ, クリスタルマウントが

*1 真空管[クライストロン]物語

<http://kawoyama.la.coocan.jp/tubestoryklystron.html>, 2019-5-27閲覧

*2 ガンダイオード (Gunn diode): 一口メモ

<http://mh.rgr.jp/memo/sc0035.htm>, 2019-5-27閲覧

*3 サーキュレータ・アイソレータ — エム・アールエフ

<https://www.mrf.co.jp/product/ferrite.circulator/>, 2019-5-27閲覧

*4 マイクロ波-アリオス株式会社-

<https://www.arios.co.jp/library/p16.html>, 2019-5-27閲覧

*5 マジックT型導波管の電磁波解析 - ITアシストコム

<http://www.it-ac.co.jp/fw1002/fw0103/dx0111.html>, 2019-5-27閲覧

最小となる点を探す。周波数校正図から発信周波数を求める。

3. クリスタルマウントの接続部に指定された長方形穴のあいた金属板を挟んだ場合の発振強度を測定し、1の場合と比較する。
4. 定在波測定器にマジックTの各断面を接続し、他の3個の断面に向反射終端器2個とクリスタルマウントを接続する。各面のマイクロ波強度を測定し、マジックTの電装特性を調査する。
5. マイクロ波発振機専用電源のMOD SELECTORをINTに切り替える。この時、マイクロ波は1kHzの方形波を変調信号とする振幅変調がかかっている。クリスタルマウントから方形波が出力されていることをオシロスコープで観測し、波形をスケッチする。
6. 定在波測定器とクリスタルマウント間にマイクロホーン(電波ラッパ)を取り付け、空間伝送による送受信が可能であるか確認し出力波形をスケッチする。その後、受信アンテナの角度を正面に対して5度間隔で変化させてアンテナ指向性を測定し、グラフ化する。

5 使用機器

5.1 一覧

- ・ デジタルオシロスコープ : Agilent Technologies InfiniiVision DSO-X 2002A
- ・ 専用電源 : SPC ELECTRONICS、TYPR 14T052、S/N R2780012、DATE 2013-7
- ・ アイソレータ : TYPE 14T017A、S/N R2780162、DATE 2013-7
- ・ 高調波除去用LPF
- ・ 可変抵抗減衰器 : TYPE 14T028、S/N R2780192、DATE 2013-7
- ・ 空洞共振周波数計 : TYPE 14T004、S/N R2780032、DATE 2013-7
- ・ 定在波測定器 : TYPE 14T003、S/N R2780022、DATE 2013-7
- ・ マジックT : TYPE 14T015、S/N R2780162、DATE 2013-7
- ・ マイクロ波用ホーンアンテナ : TYPE 14T007、S/N R2780063、DATE 2013-7 TYPE 14T019、S/N R2780182、DATE 2013-7
- ・ μ Vメータ : MODEL PM-16R、TOA Electronics Ltd.、SERIAL No.13CW404Z MODE IN JAPAN

5.2 金属板

実験4.3で使用した金属板の画像を図1から図6に示す.

5.3 マジックT

実験4.3で使用したマジックTの画像を図7に示す.

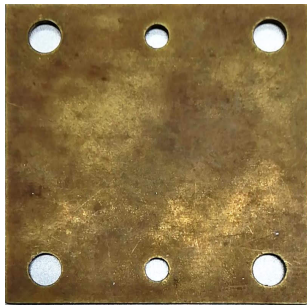


図1

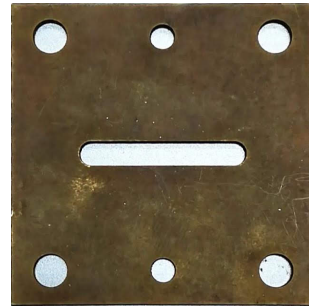


図2

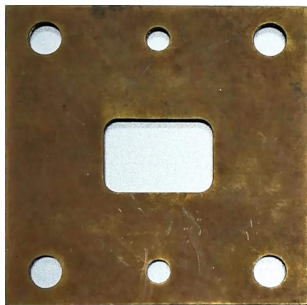


図3

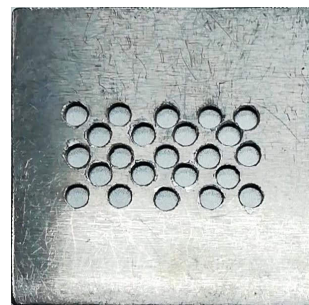


図4

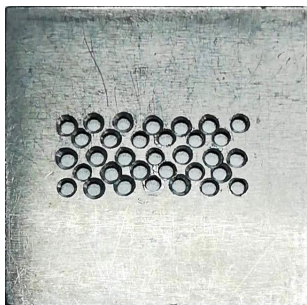


図5

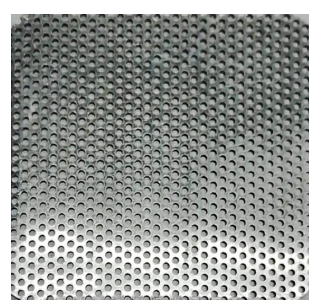


図6

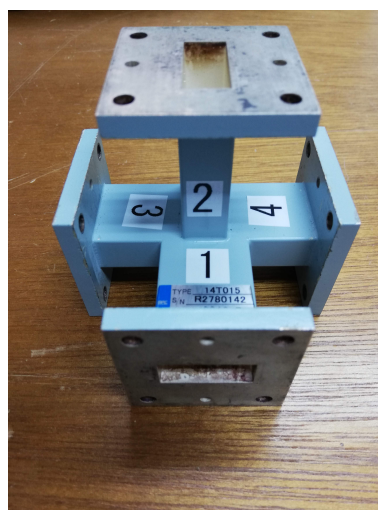


図7 マジックT

6 実験結果

6.1 実験4.1

発振器の電源を投入したところ、電圧計は9Vを示した。また、クリスタルマウントの出力からマイクロ波の発生が確認できた。

6.2 実験4.2

クリスタルマウントの出力が最小となる点は3.01mmであった。周波数校正図から9338MHzであることが確認できた。

6.3 実験4.3

金属板を挟んだ場合のそれぞれの発振強度を表1に示す。表内の図番号は 5使用機器 と一致している。

表1 金属板を挟んだ場合の発振強度

金属板	発振強度
図1	0uV
図2	2.22V
図3	1.36V
図4	32mV
図5	5.2mV
図6	0.86mV

6.4 実験4.4

定在波測定器にマジックTの各断面を接続し、他の3個の断面に向反射終端器2個とクリスタルマウントを接続した場合の各面のマイクロ波強度を表2に示す。この時のマジックTの断面番号は図7の写真と一致している。

表2 マジックTを接続した場合のマイクロ波強度

		出力			
		1	2	3	4
入力	1	-	1.1mV	1.3V	1.28V
	2	0.4mV	-	1.3V	1.3V
	3	1.2V	1.2V	-	160mV
	4	1.2V	1.2V	170mV	-

6.5 実験4.5

オシロスコープで観測された方形波を図8に示す。

6.6 実験4.6

空間伝送による出力波形を図9に示す。また、アンテナ指向性の測定結果を表3と図10に示す。

表3 ホーンアンテナ指向性

角度[deg]	発振強度[mV]
0	555
5	515
10	440
15	322
20	237
25	161
30	105
35	53.3
40	37.0
45	14.1
50	5.0
55	5.0
60	1.5
65	1.0
70	2.4
75	2.1
80	1.9
85	2.1
90	1.4

7 考察

実験4.3において金属板の寸法と接続方向によるクリスタルマウント出力の差を検討せよ。

表1のデータより、図1のような穴の空いていない金属板では電波の伝搬が遮断されることがわかる。また、穴が空いてある金属板であったとしても、図4のような細かく空いてある金属は図2、図3のような大きく穴が空いているものよりも電磁波を通しにくいことがわかった。このことは、図4、図5、図6をそれぞれ比較しても確認できる。このことは電子レンジの電磁波シールドにも応用されている。電磁波を筐体外に出さないためには図1のような金属板で覆えば良い。しかし、それでは内部の食品の状態を見ることができないため、図6のような目の細かい金網を電磁シールドとして使用することで、電磁波を遮蔽しつつ、内部状態を確認できるようにしている。

実験4.4のマジックTの伝送特性について考察せよ。

表2のデータから、ポート1、ポート2に入力した場合は、水平方向へ電波は伝搬し、垂直方向へは電波の伝搬はほとんど発生しなかった。一方で、ポート3、ポート4へ入力した際には、向かい側のポートへの伝搬は少なく、他の2ポートへ多く伝搬された。

今回の実験では、各ポートの出力値のみを観測していたため、信号の波形を記録していなかった。信号の反転の有無なども記録すればもう少し深い考察が得られたと考える。

実験4.6のホーンアンテナの指向性について考察せよ。

実験4.6の結果（表3）より、出力が最大の半分の値となる半値幅は18deg付近であることがわかった。これは一般的なアンテナと比較してすると小さい値であると言える。また、図10の指向性のグラフからも指向特性は鋭いと言える。