

# マイクロ波管 Microwave Electron-Tubes

沢田 良 嘉\*  
Ryoka Sawada

## 内 容 梗 概

マイクロ波管に関する現状の概略と、日立製作所製板極管 3 種、クライストロン 9 種、進行波管 7 種および後進波管 1 種について紹介してある。

## 1. 緒 言

電波が初めてヘルツにより実験的に発生されたころは、その波長は比較的短かく数十センチであったが、無線通信に実用化された当初は非常に波長が長く数万メートルのものもあった。その後次第に波長の短かいものを用いられるようになり現在ではミリメートル波が実用になってきている。しかし第二次大戦以前におけるマイクロ波の利用はほとんど実験室的で、マイクロ波電子管(以後マイクロ波管と称する)としても B-K 管およびマグネトロンの二種が主であった。戦時中にはクライストロン、マグネトロンが電波兵器の心臓部として活躍し、戦後はこれらがマイクロ波通信およびレーダに用いられ、さらに進行波管および板極管もマイクロ波通信に実用化されてきている。

他方マイクロ波の用途は前記のマイクロ波通信、レーダのほかに最近では電子(またはプロトン)の加速器、マイクロ波分光、マイクロ波加熱にも利用され、今後次第に用途と需要が拡大されていく傾向にある。

日立製作所においては早くよりマイクロ波管の研究開発に着手し、昭和 30 年までには各種のマイクロ波管(クライストロン、板極管、進行波管、マグネトロン)の試作研究をひととおり完了したが、従来のものより信頼性のあるものにするためさらに慎重な検討を続け 2~3 年前より市場に出して真価を問うことになった。以下に日立製マイクロ波管と内外の状況の概略を紹介する。

## 2. マイクロ波管の種類

一般にマイクロ波とは何メガサイクルから何メガサイクルまでの電波を称するというようなはっきりした規定はないが、大体 300 Mc (波長 1 m) から 300 kMc (波長 1 mm) までの間の電波を示すことが多い。

国際的に決められた最近の電波の呼称は第 1 表のとおりで、第 2 表は第 1 表以前の電波の区分を示す。また第 3 表はアメリカのレーダ関係の電波区分を示す。

マイクロ波管はマイクロ波の発振および増幅に用いられる電子管であって「本体または付属の高周波回路の寸法が使用波長に Comparable であり、また電極間の電

第 1 表 最近の電波の呼称  
(1947 年国際電気通信連合で決定)

周波数の区分	波の区分	波長の範囲	周波数の範囲
VLF	ミリメートル波	10,000m以上	30kc 以下
LF	キロメートル波	10,000~1,000m	30~ 300kc
MF	ヘクトメートル波	1,000~ 100m	300~3,000kc
HF	デカメートル波	100~ 10m	3Mc~ 30Mc
VHF	メートル波	10~ 1m	30Mc~ 300Mc
UHF	デシメートル波	1m~10cm	300Mc~3,000Mc
SHF	センチメートル波	10cm~ 1cm	3kMc~30kMc
EHF	ミリメートル波	1cm~1mm	30kMc~300kMc

第 2 表 古い電波の呼称  
(1937年 CCIR 決議)

波の区分		周波数の範囲
長	波	10kc~ 100kc
中	波	100kc~1,500kc
中	短波	1.5Mc~ 6Mc
短	波	6 Mc~ 30Mc
超	短波	30 Mc~ 300Mc
極	超短波	300 Mc~3,000Mc

第 3 表 レーダ関係の電波区分 (米国)

名 称	周波数範囲 (Mc)	波 長 (cm)
P band	225~ 390	133 ~77
L band	390~ 1,550	77 ~19.35
S band	1,550~ 5,200	19.35~ 5.77
X band	5,200~11,000	5.77~ 2.73
K band	11,000~33,000	2.73~ 0.91

子の走向時間が使用高周波の周期に Comparable な電子管」ということもできる。

すなわちマイクロ波管は UHF (Ultra High Frequency), SHF (Super High Frequency) および EHF (Extremely High Frequency) の範囲内で発振または増幅に用いる電子管ということになる。

現在最もよく用いられている種類は

- (1) 板極管
- (2) クライストロン
- (3) 進行波管 (Traveling Wave Tube)
- (4) マグネトロン (磁電管)

の 4 種であって、また最近実用化されつつあるものは

- (1) 後進波管<sup>(1)</sup> (Backward-Wave Tube)
- (2) Resnatron<sup>(2)</sup>
- (3) Platinotron<sup>(3)</sup> (増幅のときは Amplitron, 発

\* 日立製作所中央研究所 工博

振のときは Stabilatron) などがあ、研究開発段階にあつて興味のあるものとしては、

- (1) カルシーノトロン<sup>(4)</sup> (後進波管の一種でM形とO形である)
- (2) Maser<sup>(5)</sup> (分子発振, 増幅管)
- (3) Parametric Amplifier<sup>(6)</sup>
- (4) Undulator<sup>(7)</sup>
- (5) Harmodotron<sup>(8)</sup>

などである。また一般のマイクロ波管とはちょうど反対の動作をなし、マイクロ波により高エネルギーの電子(またはプロトン)をうるためのものとして、

- (1) 共振空洞加速器
- (2) 線形加速器 (Linear accelerator)
- (3) Rebatron
- (4) マイクロトロン

などがある。

以上のほかにも多くの種類があるが、以下においては主なるものについてのみ述べる。

### 3. 板 極 管

板極管には真空封じに用いる絶縁物としてガラスを用いたものと磁器(セラミック)を用いたものがあり、三極管構造のものが多い。板極管にはまた電極が板状をした Planar electrode tube と封じ部が板状をした Disc-seal tube とがある。また形あるいはメーカーの商品名から Light house tube (G. E.) Pencil tube (RCA), Rocket tube (Sylvania) などと称しているものもある。Pencil tube の封じ部は板状であるが、電極は同軸円筒形である。

第4表は日立製作所で製作している板極管の特性を示し、第1図はそれらの外観写真を示す。

#### 3.1 技術上の問題点

板極管の動作は普通の三極管と同一原理によるものであるが、マイクロ波に用いるため特殊な構造をしているので、普通の三極管で生ずる問題のほかに二、三特別な点がある。

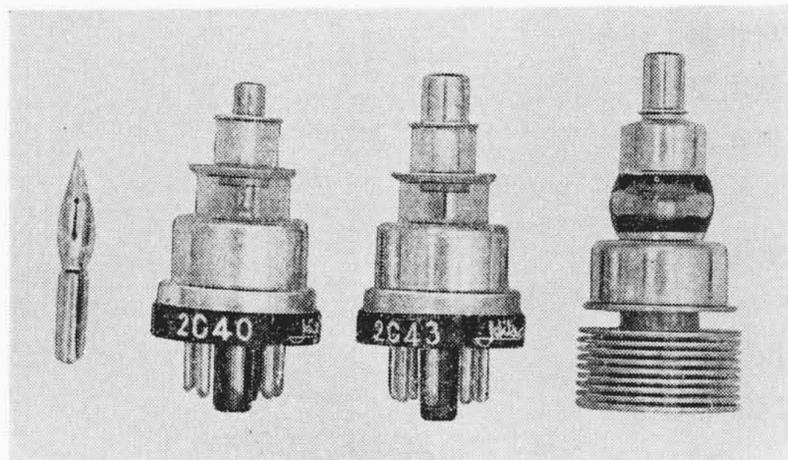
(a) 板封じ技術: 銅板およびコバルト板とガラスとの封じについてはよく行われていて問題がないが、2C40 および 2C43 においては高周波ロスを減少させるため鉄に銀メッキして、その上にガラス封じを行っている。この場合はガラスと銀との接着力が弱く、またリークするものが多いので、われわれは特殊な方法で接着しているので良好なものが得られている。

(b) 組立の精度: 板極管にかぎらずすべてのマイクロ波管は高度の組立精度を必要とするので、特別な治具および加工技術を必要とする。

第4表 日立製板極管の性能

形名	動作の区別	周波数	陽極入力	出力(W)
2C40	連続発振	500Mc	225V×25mA	0.5以上
	連続発振	3,370Mc	250V×25mA	0.035以上
2C43	連続発振	300Mc	360V×28mA	4.5
	パルス発振	3,370Mc	3,000V×2.4mA	750以上
2C39A	連続増幅	500Mc	800V×80mA	27
	連続発振	2,500Mc	900V×90mA	8以上

注: 2C40A は 2C40 をパルスに使用するようにしたものである。



左より 2C40, 2C43, 2C39A  
第1図 日立製作所製板極管

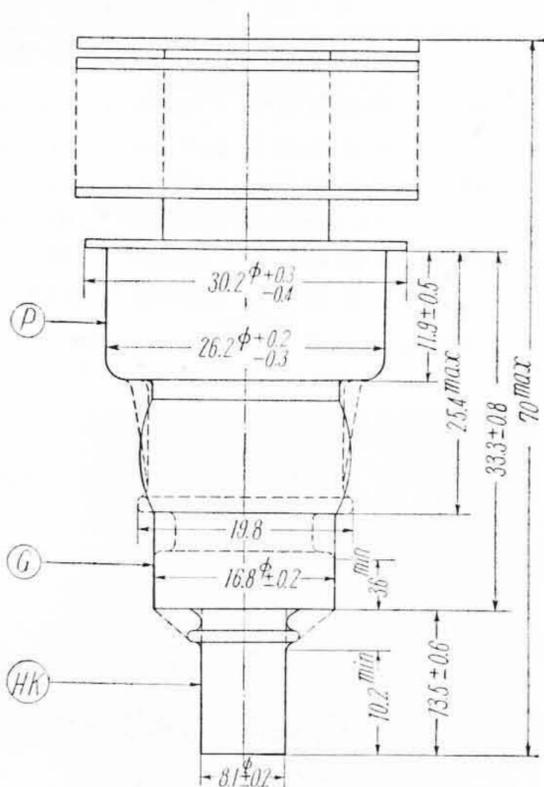
(c) グリットエミッションの防止: グリットとカソードの間隔は非常に小さく100ミクロン前後なので、グリットがカソードからの熱輻射により加熱されグリットが電子放射を行うので、普通グリットメッシュ(W製)に金メッキしてこれを防いでいるが、われわれの経験ではこれだけでは十分でなかった。それゆえ金メッキ後適当な操作を行って完全にグリットエミッションを防止している。このためカソードとグリット間のスパークもほとんどない。

(d) 外形構造について: 板極管は普通同軸形共振器に差し込んで使用するので互換性の関係上製作メーカーに関係なく同一の構造および寸法であることが必要である。2C40 および 2C43 についてはほとんど問題がないが、2C39A については現在一つの形が日本の規格として認められている。第2図は 2C39A の規格の外形構造および寸法を示し、実線は日立製のものを点線はほかの二つの形の構造を示す。これらの主な相異点は陽極PとグリットG間のガラス部、グリットGの構造およびグリットGとヒータカソードHKとの境の部分であつて、それぞれわずかに構造が異なっている。しかし規格としておさえてある寸法は図示のとおりであつて、いずれの形でも寸法規格の点ではまったく共通であり、これを使用する共振器の構造寸法もいずれの形にも適合するように作ることは容易である。しかし特定の形の 2C39A にしか適合しないような共振器も考えられるので、そのようなことがないように共振器の構造寸法を決めることが必要である。実験用の同軸共振器を用いて実線の形と点線の形との

違いを共振器の Q について、2,000 Mc で測定した結果ではいずれも差はなかった。

### 3.2 板極管の現状および今後の傾向

現在日本で用いられている主な板極管 (Planar electrode tube) は 2C40, 2C43, 2C39A でこのほかに 2C42, 2C46 および二極形板極



第 2 図 2C39A の規格の外形寸法図  
実線: 日立, Machlett RCA の形  
点線: G.E., Eimac の形

管, シェラミック封じの 2C39B などがある。

セラミック封じは大電力管では熱的および機械的観点から多くの利点があるが、小電力のものではガラス封じに比して大きな性能上の特長はあらわれていない。しかし近い将来セラミック封じの技術が確立されるならば製作上の原価低下の面から広く用いられるであろう。

現在板極管を用いて実用に使用されている最高周波数は 4,000 Mc (米国) であるが、板極管自体としては 10,000 Mc まで (Philips) 動作するものが作られている。

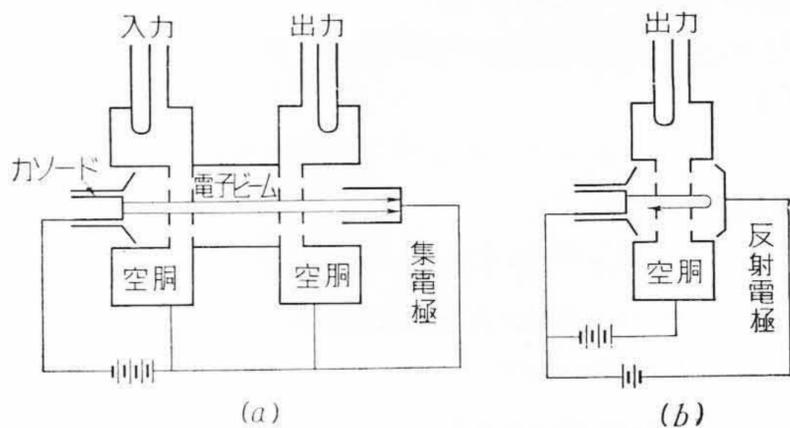
板極管はノイズが少ないこと、能率がよいこと、陽極電圧が低くてよいことなどの特長があるので将来 10,000 Mc 位までのものが実用になると思われる。

今までに発表されている最小の板極管はセラミック封じを用いたもので (G. E. 製 900 Mc 用 6BY4) 0.323in (直径) × 0.422in (高さ) で、このタイプの新しいものでは 3/16in (直径) × 1/4in (高さ) のものもあるようである。

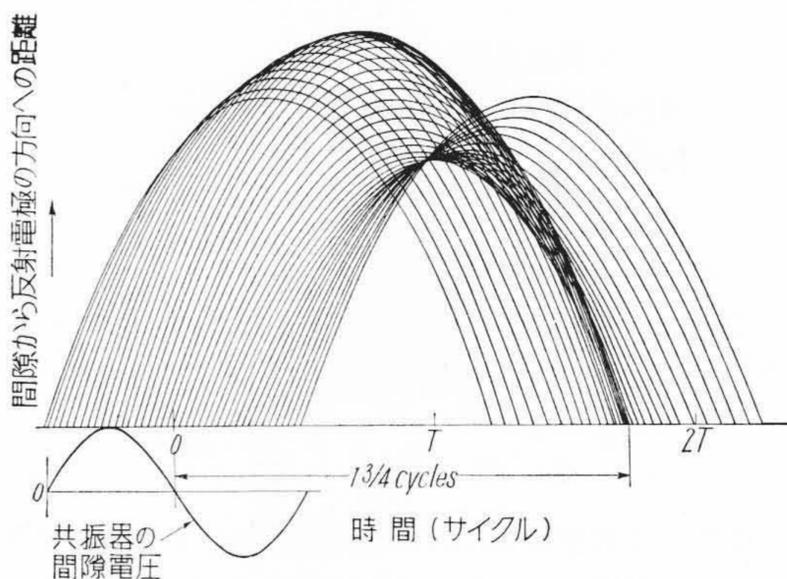
## 4. クライストロン

クライストロンには反射形と直進形とがあり、反射形は小電力の発振にのみ用いられ、日本において作られているクライストロンはほとんど反射形である。

第 3 図 (b) および第 4 図は空胴間隙で高周波電界により加速または減速作用を受けた電子流が反射電極側から反転してもどる際疎密を生じ、適当な位相関係では、空胴内の高周波電界を強めて、発振を持続することを示す。空胴間隙から出た電子が反射電極側から反射してふたたび間隙にもどるまでの電子の走行角がサイクルにして



第 3 図 (a) 直進形クライストロン  
(b) 反射形クライストロン



第 4 図 反射形クライストロンの電子軌道 (空胴-反射電極間)

$\frac{3}{4}, 1\frac{3}{4}, \dots$  一般には  $(n - \frac{1}{4})$  サイクルのとき最も発振が強くそれぞれモード 0, 1, 2, ... などの発振と称する。

### 4.1 直進形と反射形の比較

直進形は複空胴形または多空胴形ともいわれ、第 3 図 (a) のように入力と出力の空胴が別々になっているので、マイクロ波の増幅に適し高利得のものでは 60 db, 大電力のものでは 20~30 MW (S-band, パルス動作) のものがある。したがって通信, TV, レーダなどの送信機用として用いられるほかに、電子加速器のマイクロ波源にも適する。共振器が二つ以上あるので、それらの共振周波数を希望どおりに合わせる調整に手数を要すること、大形のものでは電子流を集束するために電磁石を用いることは不利な点である。

反射形は共振器が一つしかないので周波数調節が簡単で、また反射電極の電位をわずかに変えることにより発振周波数を中心周波数から  $\pm 0.2 \sim 0.3\%$  の範囲内で微細に調節できる特長がある。能率は悪く普通 5% 以下で数 W 以上の出力を得ることは困難である。用途としては簡易送信機, 受信機の局部発振用, 測定器などに適する。

### 4.2 日立製クライストロンについて

日立製作所においてはガラスタイプのクライストロン

をはじめ各種のクライストロンを試作開発したが、現在製品として市場に出している種類は第5表および第5図のとおりであって、いずれも高信頼性と長寿命を特長としている。これらはすべて空洞から出力を取り出すころは同軸形になっているが、近く導波管形出力部を有するものおよび周波数が 10,000 Mc 以上のものも発表する予定である。

7 V 39 は日立製作所独特の反射形クライストロンで周波数可変範囲が非常に広く 2,600 Mc もあるので測定機に適し、また出力も比較的大きいので一般マイクロ波通信機にも用いられる。

近時クライストロンはマイクロ波管の代表的なものとして周知のものとなったが、さらに性能を向上させるためには電極構造、材料および製法についてはまだ研究すべき点が残っている。第6図は電極構造に関する研究の一例であって、カソードから飛び出た電子がどのような軌道を描くかを示したものである。点線で示した零次近似軌道は空間電荷の影響を無視した場合すなわち単なる電位分布の Laplace の解または電解槽により求めた等電位面から求めたものであり、実線は空間電荷の影響を考慮した場合のものである。いずれも抵抗回路網を用いて求めた電位分布から計算したものであって、空電荷の影響がはなはだしいことを示す。

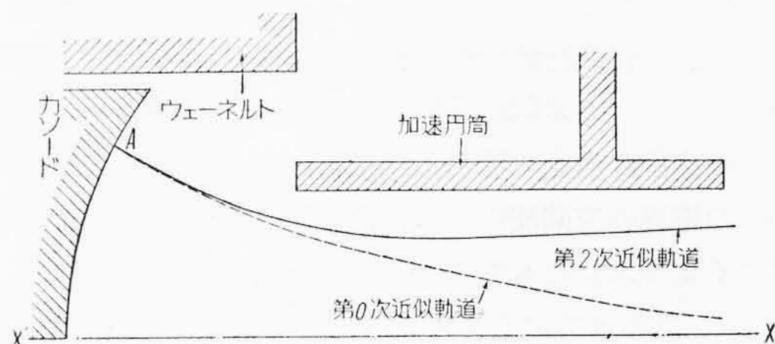
第7図はクライストロンのカソードを点火して1分後に共振器および反射電極に規定の電圧を加えて発振させ

その発振周波数が時間とともにどのように変わるかを示したものである。日立製 2 K 26 は3~4分外国製のは6~7分後に周波数が安定し、また日立製 2 K 44 は3分後に安定になり外国製のはなかなか安定しないことがわかる。これらの相異は調節機構の材質に関係する。

### 5. 進行波管

初めに発表された進行波管はヘリックスだけでもその長さが 66 cm もあったので、titanic tube (巨人管) と呼ばれたことがあったが、最近のは周波数が高くなって管の全長が小さくなったのでこの名前はほとんど使われなくなった。

進行波管 (TWT) の特長は共振回路がないことであって、普通マイクロ波回路としてはヘリックスを用い、ヘリックスの一端からマイクロ波を入れ、他端から増幅された出力を取り出すようになっている。増幅された出力が入力側にもどることを防ぐため、入力端と出力端の

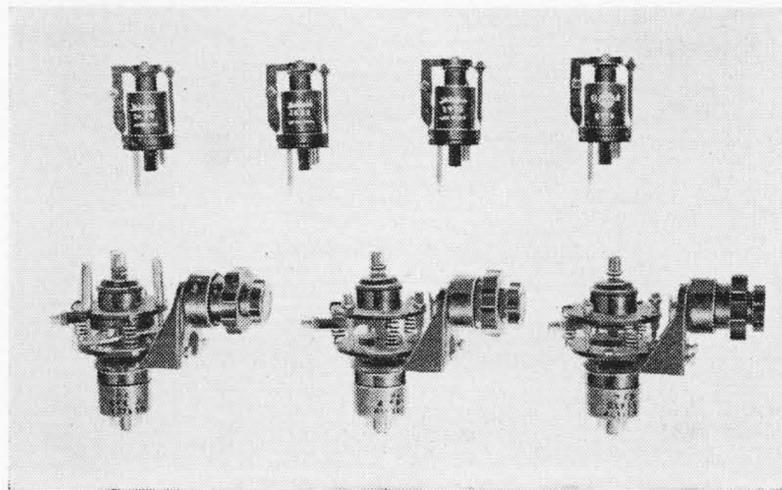


第6図 クライストロンの電子銃部の電子軌道

第5表 日立製クライストロンの特性

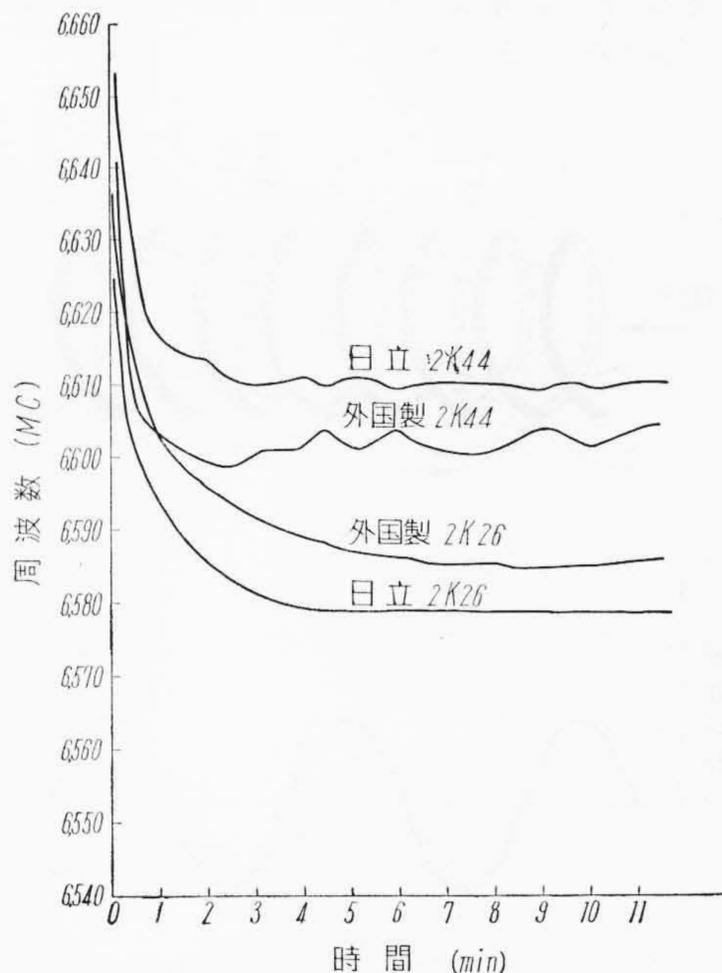
形名	周波数範囲 (Mc)	空洞電圧 (V)	出力 (mW)
6 V 26	5,800~6,500	300	100
7 V 26	6,400~7,200	300	100
8 V 26	7,200~7,800	300	60
5976	6,200~7,425	300	110
2 K 26	6,250~7,060	300	100
2 K 25	8,500~9,660	300	30
2 K 41	2,660~3,310	1,250	2,500
2 K 44	5,700~7,500	1,250	700
7 V 39	5,700~8,300	1,250	700

注：出力は一般に中心周波数における公称値を示す。



上段左より 2 K 26, 2 K 25, 5976, 8 V 26  
下段左より 2 K 41, 2 K 44, 7 V 39

第5図 日立製作所製クライストロン



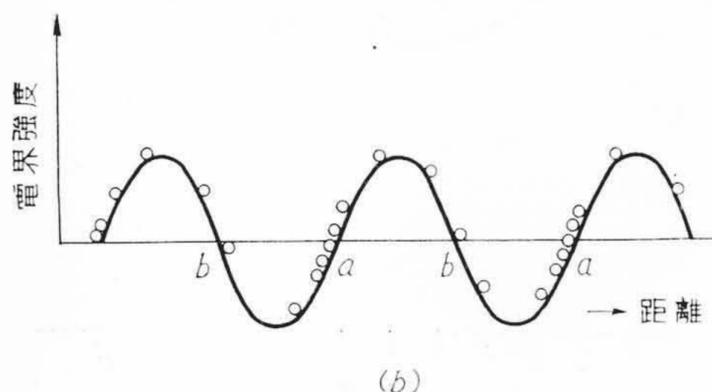
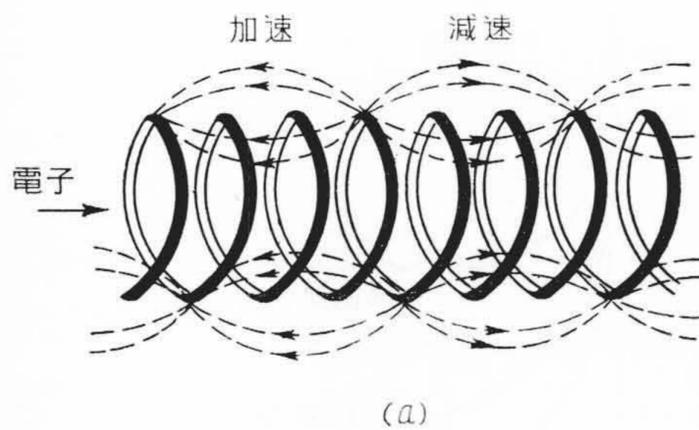
第7図 クライストロン始動時の周波数変動

中央部には高周波減衰部をおき電波は通り抜けられないようになっていて、電子流はその減衰部を自由に通過できるようにしている。増幅作用はヘリックスの内側にヘリックス軸上のマイクロ波の速度とほとんど同じ速度の電子ビームを通し、この電子ビームとヘリックス上のマイクロ波電界との相互作用によって生ずるようになっている。

第 8 図はヘリックスのまわりのマイクロ波電界と電子が電界によって疎密に分布される様子を示す。すなわち電波と電子とが大體同じ速度で進行すると、加速電界中にある電子は加速され速度が大となり、減速電界中にある電子は減速されるので第 8 図 (b) の a 点付近の電子分布の密度が大となり、b 点付近はまばらになる。この不均一な電子分布はヘリックスにマイクロ波電流を誘導するので適当な条件下ではマイクロ波は次第に増大される。

ヘリックスを用いた進行波管は共振回路がないので、広い周波数範囲で動作し、また電子銃部の構成を適当にして雑音指数を小さくしうることも大きな利点である。

後進波管は進行波管の一種であるが、回路としてはテープをヘリックス状にまいたものとか (6BW85)、角棒に櫛の歯状に溝をつけたようなものなどを用い、そのまわりの電界の空間波のうちの後進波と電子流とが相互作用するようにしたものである (進行波管は前進波を用いる)。したがってマイクロ波出力部は電子ビームの入射される側になる。発振および増幅に用いられ、発振の場合は回路に加える直流電圧 (すなわち電子ビーム電圧) をかえるだけで、発振周波数を広い範囲 (約 1:2) にわたってかえることができる。



第 8 図 ヘリックスの周りの電界と電子集群の関係

第 6 表は試作完了した進行波管の特性を、第 9 図は主なるものの外観写真である。いずれも長い電子ビームを集束するために磁場を用いるが、6W86, 7W86, 8W86 には永久磁石による周期磁界を、そのほかのものは電磁石による均一磁石を用いるようになっている。なお性能を向上させるため大部分に永久磁石による周期磁界を用い、電子銃付近にのみ小さな電磁石を用いる方式も試みている (本誌 6,000 Mc マイクロ波中継装置の稿参照)。最近 RCA では Estiatron と称して磁界の代わりに周期静電界を用いたものを発表しているが、その特性は 2,950 Mc において利得 10 db, 出力 100 mW くらいである。

6W87 は低雑音用の増幅管で、雑音指数 (N. F.) は最良のもので 9 db 前後である。後進波管 6BW85 はヘリックス電圧を 600~1,500V にすることにより発振周波数を大體 5,000~7,000 Mc にかえることができ、6,000 Mc における出力は約 100 mW である。

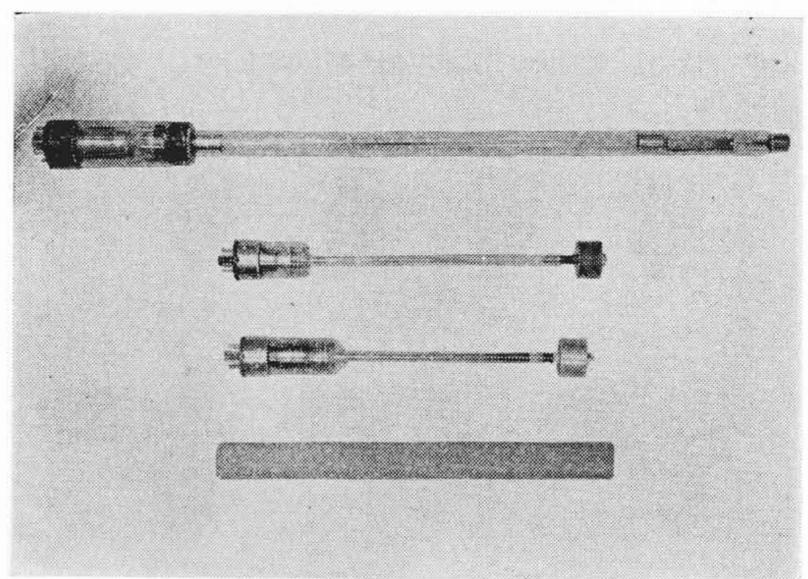
### 6. ミリメートル波管および大電力管について

ミリメートル波の用途としては通信、レーダおよびマイクロ波分光などがあり、センチ波以上のマイクロ波と異なった特性がある。

通信においてたとえば 10,000Mc の幅の電波を 100% 利用したとすると電話ならば 250 万くらい、テレビなら

第 6 表 試作完了した進行波管の特性

形名	用途	全長 (mm)	周波数 (Mc)	公称出力 (mW)	小出力時の利得 (db)
4W85	電圧増幅	545	3,700~4,200	100	23
4W86	電力増幅	570	3,700~4,200	1,000	17
6W85	電圧増幅	390	5,000~6,800	80	30
6W86	電力増幅	412	5,000~6,800	6,000	25
6W87	低雑音	440	5,000~6,800	2	25
7W86	電力増幅	412	6,000~7,000	6,000	25
8W86	電力増幅	300	6,500~7,800	4,000	33
6BW85	発振 (後進波管)	280	5,000~7,000	100 (6,000Mc)	-



上: 進行波管 4W86  
中: 進行波管 8W86  
下: 後進波管 6BW85  
第 9 図 進行波管

ば約 2,000 の通話路がとれる。Bell 研究所では 50,000 ~ 60,000 Mc 付近を将来利用することを考えているようである。

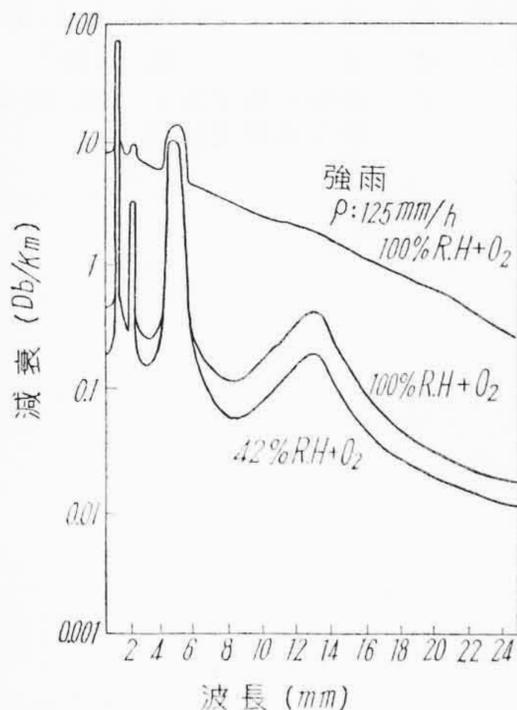
レーザにおいてはミリ波を用いることにより分解能がよくなるので、最近では 8.6 mm (マグネトロンでピーク出力 30~150 kW) のものが使用され始めている。ミリ波の大気による吸収は第 10 図のとおりで、1.25 cm では水蒸気、5 mm および 2.5 mm では酸素による吸収がはなはだしいのでこの点を考慮する必要がある。

マイクロ波分光学は可視光線や赤外線によるものと同様に分子構造の研究、原子核の研究、分析への応用、周波数標準としての応用 (たとえば原子時計) に役立つ。

ミリ波管の研究は文字どおり日進月歩で現状はたしかでないが 1~3 年前で、マグネトロンでは 6.3 mm で 100 kW (パルス)、3.3 mm で 20 kW (パルス)、2.6 mm で 3.3 kW (パルス)、1.1 mm で微弱、進行波管では 5 mm で 10 mW (連続)、後進波管では 6 mm で 25 mW (連続)、2.7 mm で 1 mW (連続)、クライストロンでは 4 mm で 50 mW (連続) などの報告がある。最も短かいものでは Undulator により Linear accelerator からの高速電子ビームによる 4,000 Å 前後の光波の発生がある。

ミリ波管製作上問題になるのは工作精度、回路ロス、カソード、熱発生などであって、精度についての例では、4,000 Mc 用のクライストロンの共振器は大體  $1\text{in} \pm 2\text{mil}$  であるが 60,000 Mc では  $\frac{1}{15}\text{in}$  すなわち  $67\text{mil} \pm 0.13\text{mil}$  となる。また Skin depth は 60,000 Mc では  $\frac{1}{100}\text{mil}$  すなわち 0.25 ミクロンとなる。電子ビームの電流密度は 60,000 Mc では空洞部で  $25\text{A}/\text{cm}^2$  (普通は  $1\text{A}/\text{cm}^2$ ) となる。

大電力のマイクロ波は見透外伝播による通信、レーザ、



第 10 図 大気中を伝播するマイクロ波の減衰

電子およびプロトンの加速器、マイクロ波加熱などに用いられる。

マイクロ波大電力管の記録としては板封止三極管により 300 Mc で 800 kW (連続)、425 Mc で 10 MW (パルス)、板封止四極管では 400 Mc で 25 kW (連続)、425 Mc で 27.5 MW (パルス)、クライストロンでは 400~600 Mc で 75 kW (連続)、3,000 Mc で 20 MW (パルス)、プラチノトロンでは Lバンドで 10 MW (パルス)、マグネトロンでは 3,000 Mc で 5 MW (パルス)、Lバンドで 10 MW (パルス)、進行波管では 2,700 Mc で 600 kW (パルス) などがある。

各種マイクロ波管の優劣は用途により、出力の大きさ、動作する波長、周波数安定度、増幅度、寿命、大きさおよび取り扱いの難易などを考えなければならないので、簡単に比較できないが、能率については、プラチノトロン、マグネトロン、板封止の三極および四極管がよく 30~75%、直進形クライストロンは 30~40%、進行波管は 10~30% である。増幅度は直進形クライストロンが 40~60 db、進行波管は 30~40 db、板封止四極管は 20 db、三極管およびプラチノトロンは 5~20 db 位が高い方と思われる。

## 7. 結 言

以上各種マイクロ波管の主なるものについて現状の概略と日立製マイクロ波管を紹介した。マグネトロンについては日立製作所ではいまだ市場に出していないので詳細は省略した。マイクロ波の需要用途は将来ますます拡大され、マイクロ波管もさらに進歩していくことは必然的であるが、これらの健全な開発は電子力学、回路に関する研究のほかに、材料、工作関係の一体となった総合技術によって始めて完成されたものになると思われる。

終りにマイクロ波管の開発研究に御指導いただいた会社幹部の方々および直接担当された諸氏に敬意と謝意を表する。

## 参 考 文 献

- (1) A. Karp: Proc. I. R. E., 45, 496 (April, 1957)
- (2) Radio Res. Lab. Staff: Very High-Frequency Techniques I, 445 (1947)
- (3) W. C. Brown: Proc. I. R. E., 45, 1,209 (Sept. 1957)
- (4) R. R. Warnecke: Ann. Radio élect., 9, 107 (April, 1954)
- (5) C. H. Townes: 信学誌, 39, 927 (昭 31-11)
- (6) W. H. Louisell and C. F. Quate: Proc. I. R. E., 46, 707 (April, 1958)
- (7) H. Motz, W. Thon and R. N. Whitehurst: J. A. P. 24, 826 (July, 1953)
- (8) M. D. Sirkis and P. D. Coleman: J. A. P. 28, 944 (Sept., 1957)

(第 115 頁より続く)

日立製作所社員の通信機器に関する社外既発表論文一覧

(その12)

(6) 電 子 管 (その2)

番号	題 目	執 筆 者	掲 載 誌	掲 載 号
25	トランジスタの回路とその特性(1)	伴 野 正 美	トランジスタ専門講習会講演予稿	昭 31-4
26	トランジスタの物理	伴 野 正 美	半導体講習会テキスト	昭 30-9
27	ゲルマニウムダイオードの諸特性および測定法	伴 野 正 美	トランジスタ専門講習会用テキスト	昭 31-8
28	振幅差変調法による電子管自動平衡回路 (第1報)	阿 部 善 右 門 沼 倉 俊 郎	電気四学会連合大会資料	昭 32-4
29	トランジスタのはなし	阿 部 善 右 門 徳 山 巍	日 立	昭 31 No. 2

(7) そ の 他

番号	題 目	執 筆 者	掲 載 誌	掲 載 号
1	繊維素系材料の射出成型について	田 辺 辰 三 郎 桜 井 清	日 立 評 論	Vol. 36 No. 2
2	通信機工場における品質管理	小 林 季 八 中 村 良 八 成 田 豊 三	日 立 評 論	Vol. 36 No. 11
3	通信機の検査設備について	岡 田 一 知 高 橋 浩	日 立 評 論	別 冊 No. 6
4	有線通信機器におけるMPコンデンサ	平 岩 久 清 市 川 夫 司	日 立 評 論	Vol. 39 No. 2
5	品質管理と生産技術	小 林 季 八 小 野 安 正	品 質 管 理	Vol. 4 No. 4
6	生産管理と品質管理	小 林 季 八	品 質 管 理	Vol. 7 No. 10
7	通信機工場における工数管理を中心とした製造手配事務の合理化	黒 沢 康	マ ネ ジ メ ン ト	Vol. 14 No. 10
8	設計の原価統制	中 谷 信 夫 黒 沢 康 夫 吉 田 邦 夫	マ ネ ジ メ ン ト	Vol. 17 No. 1
9	金属化紙の製法と真空蒸着の電気機器への応用	山 辺 知 定	日刊工業新聞社講習会テキスト	昭 30. 8. 18
10	MP蓄電器およびラッカフィルム蓄電器の真空蒸着	山 辺 知 定	真 空 工 業	Vol. 2 No. 10
11	線の矯正	長 屋 稔	機 械 の 研 究	Vol. 10 No. 1
12	板材の矯正について	日 比 野 文 雄	機 械 の 研 究	Vol. 10 No. 1
13	プレスによる小径の孔明け加工	長 屋 稔	金 属	1957 No. 12
14	曲げ加工における実際的諸問題について	長 屋 稔	薄板の曲げ加工 誠文堂新光社発行	昭 33-7