

# セラミック窓装荷クライストロン

## Ceramic Loaded Klystrons

滝田 俊 広\* 鈴 鹿 彪\*  
Toshihiro Takita Takeki Suzuka

### 要 旨

セラミック板のもつアドミッタンスが、かなり広い周波数範囲にわたって一定値を示すことを利用して、クライストロンの出力導波管部に、セラミックを装荷し、出力窓として使用すると、高出力で、かなりの帯域をもたせることができる<sup>(1)</sup>。ここでは、まずセラミック板のアドミッタンス特性と、セラミック装荷クライストロンの設計法について述べる。また、この設計法に基づいて試作した、周波数 12,100~12,700 Mc で、出力 250 mW、および 1 W のセラミック装荷クライストロン、H3012、H3011 の特性と概要を述べる。

### 1. 緒 言

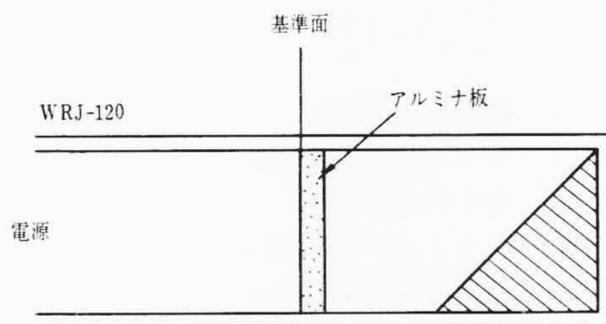
導波管出力形のクライストロンの空洞との結合部、または導波管部には、誘電体物質が気密封着されているが、導波管部に、たとえばセラミック (アルミナ  $Al_2O_3$ 、ベリツア  $BeO$  など) を使用する場合、真空気密を保つためには、その厚さに限度があるので、マイクロ波領域では、かなりのアドミッタンスを有することになり、整合窓としては使えなくなる。このため金属窓や、スタブなどの組み合わせで整合をとることが行なわれているが、金属窓や、スタブの持つアドミッタンスは、周波数に対する変化が大きく、したがってセラミック窓を、簡単な形で広帯域にわたって整合をとることは困難である。一方セラミックのアドミッタンス特性は、その板厚が、波長にくらべて十分薄い場合には、かなり広い周波数範囲にわたって、ほぼ一定の値を示すことから、整合窓としてではなく、負荷窓としての使い方が考えられる。この場合の帯域は、周波数に対してセラミック窓のアドミッタンスの変化が少なく、また球の負荷特性が大きく変わらなければ、かなりの広帯域が期待される。また出力についても、プリング係数を悪くしない範囲で、最適負荷に近い状態に装荷することにより、高能率で出力をとり出すことができる。したがって、球側についてのセラミック窓の装荷条件は、空洞と外部回路の結合を浅くしておき、最適負荷時出力と、整合負荷時出力との差を、ある程度大きくしておくことである。この装荷法にしたがって、12,200~12,700 Mc 帯の多重電話回線用マイクロ波送信管として適する、出力 250 mW および 1 W のクライストロンを試作して、所期の結果がえられた。

### 2. セラミック板のアドミッタンス特性

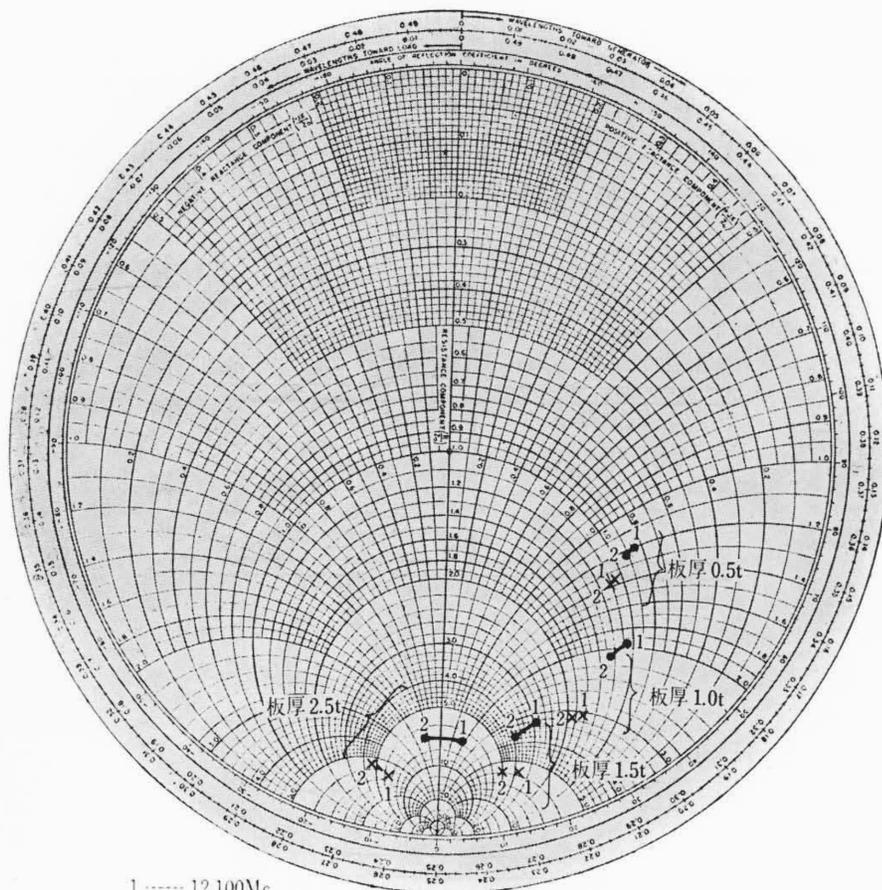
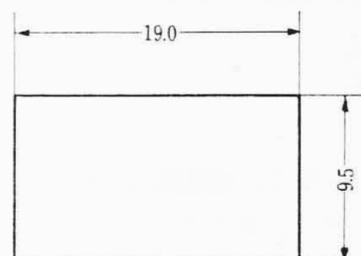
セラミック窓のアドミッタンス特性が、セラミック材質、厚さ、金属窓との組み合わせにより、どのような周波数特性を示すかを、12,100~12,700 Mc の範囲で測定した。セラミック板の材質としては、封着強度の強いアルミナを選んだ。セラミック板の寸法は、WRJ-120 の管内寸法に合わせ、アドミッタンスの規準面は、電源側のセラミック板表面にとった。

図 1 にアルミナ系セラミック板 ( $\epsilon=9$ ,  $\tan\delta=7\times 10^{-4}$  以下) の特性の実測値と計算値を示す。板厚は 0.5, 1.0, 1.5, 2.5 t について測定した。セラミック板は、BRJ-120 に相当するフランジ内に、接着剤により固定して導波管内にそう入した。測定値から、板厚 0.5~1.5 t でのセラミック板のアドミッタンス変化は、非常に少ないことがわかる。この実験結果を検討するために、図 2 のように方形導波管 WRJ-120 内に、誘電率  $\epsilon$  のセラミック板 (板厚  $l$ ) をそう入した場合を考えて、 $a-a'$  面から負荷側をみた  $TE_{01}$  波合成インピーダ

\* 日立製作所茂原工場



アルミナ板寸法



1 ..... 12.100Mc  
2 ..... 12.700Mc  
● ..... 実測値  
× ..... 計算値  
図 1 アルミナ板入力アドミッタンス

ス  $Z_i$  を計算し比較する<sup>(2)(3)</sup>。

$$Z_i = Z_1 \left( \frac{Z_0 + jZ_1 \tan \beta_1 l}{Z_1 + jZ_0 \tan \beta_1 l} \right) \dots \dots \dots (1)$$

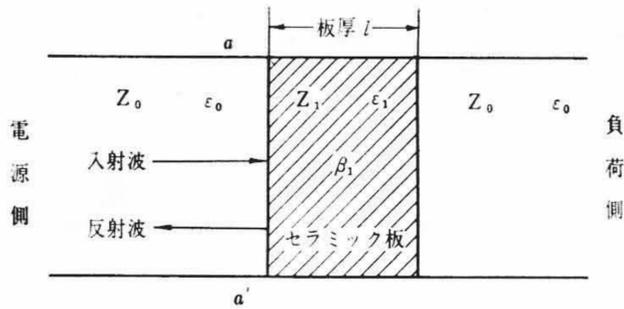


図2 方形導波管内にろう入されたセラミック板のインピーダンス

$$Z_0 = \frac{\sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_{e0}}{\lambda_0}\right)^2}}, \quad Z_1 = \frac{\sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_e}{\lambda_0}\right)^2}},$$

$$\beta_1 = \frac{2\pi}{\lambda_e} \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_e}{\lambda_0}\right)^2}$$

- ここに、 $\mu_0$ : 空気中の透磁率
- $\mu$ : セラミック中の透磁率
- $\epsilon_0$ : 空気中の誘電率
- $\epsilon$ : セラミック中の誘電率
- $\lambda_{e0}$ : 管内波長 (誘電率  $\epsilon_0$ )
- $\lambda_e$ : 管内波長 (誘電率  $\epsilon$ )
- $\lambda_0$ : WRJ-12 導波管遮断周波数

また  $a-a'$  面での反射係数  $r_R$  は次のように示される。

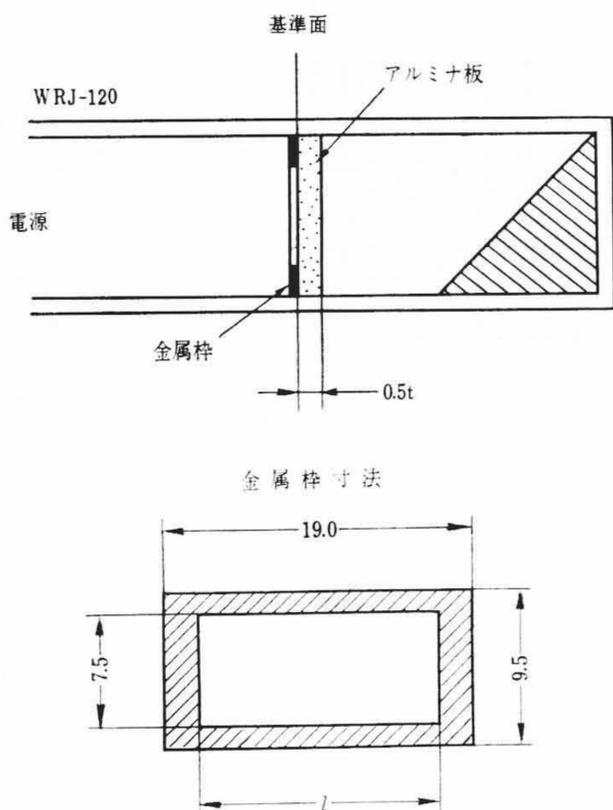
$$r_R = \frac{Z_1 - Z_0}{Z_1 + Z_0} \dots \dots \dots (2)$$

$r_R$  をスミス線図上にアドミッタンス表示すると、 $r_R$  の軌跡は、実軸上に中心をもつ円となる。定在波比が最大になるのは、 $\beta_1 l = \pi/2$  となる場合で、 $Z_1$  は純コンダクタンス  $Z_1' = Z_1^2 / Z_0$  となる。

(2) 式に(1)式を代入して、 $r_R$  の位相角  $\phi_0$  を計算すると次式となる。

$$\phi_0 = \frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \left\{ \frac{Z_0^2 + Z_1^2}{2 Z_0 Z_1} \tan \beta_1 l \right\} \dots \dots \dots (3)$$

周波数 12,100, 12,700 Mc での  $Z_1'$  値と(3)式による位相角から、アルミナセラミック板の  $Z_1$  をアドミッタンス表示し、図1に××



(セラミック板厚 0.5t, 金属板厚 0.27t) 1.....12,100 Mc 2.....12,400 Mc 3.....12,700 Mc

図3 金属わく付アルミナセラミック窓入力アドミッタンス

で示した。

実測値と計算値を比較すると、各板厚の定在波比については、計算値より小さく、板厚が厚くなるにしたがいその差が大きくなること、位相については、計算値とややずれていること、周波数に対する変化は計算値にくらべて相当大きい、板厚が厚くなるにつれて大きくなる傾向は、一致していることが認められる。これら実測値と計算値との差異は、セラミック板を導波管内に、ろう付封着せず、接着剤で固定したことによる、セラミック板と導波管とのすき間の影響によると考えられる。

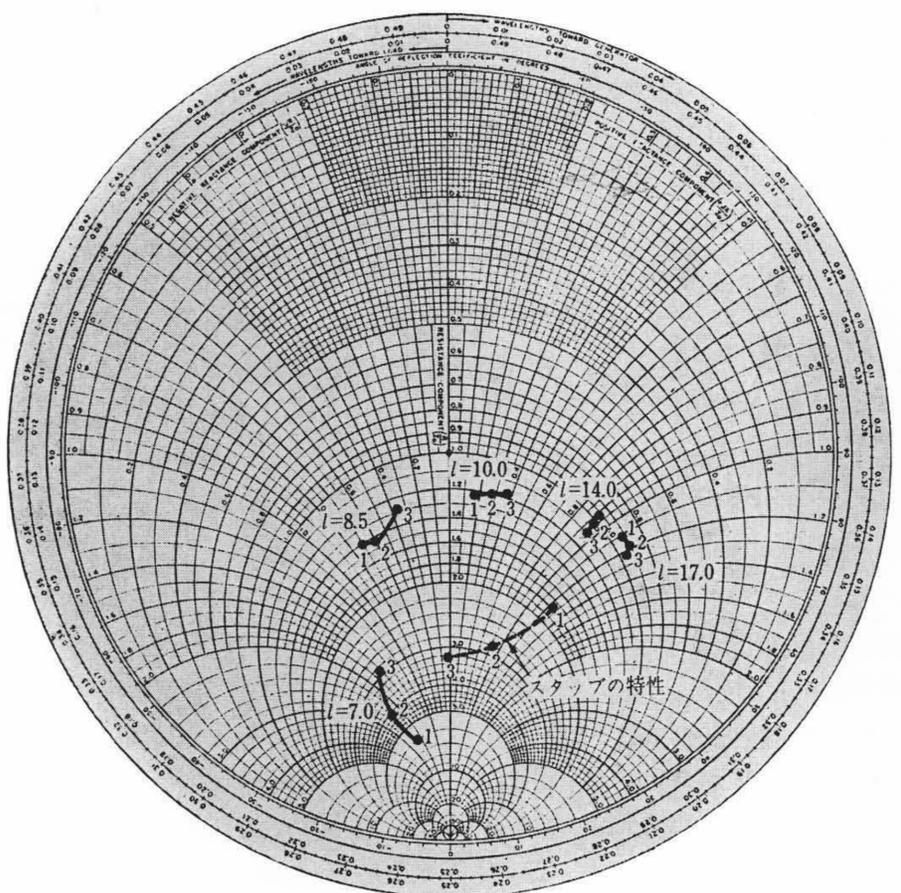
次にセラミック窓として導波管内にセラミック板をろう付け封着するために、金属わく付セラミック板のアドミッタンス特性を測定した。セラミック板としては、ハイアルミナ板厚 0.5t を選び、その電源側面に、板厚 0.27t の金属わくを取付け、数種のわく寸法についてアドミッタンスを測定した。その結果を図3に示す。

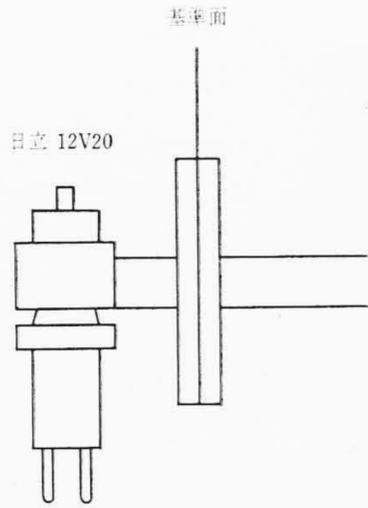
$l=14$  mm 以上では、金属わく付きのセラミック板アドミッタンスは容量性を示し、金属わくの影響はほとんどあらわれず、図1のセラミック板 (板厚 0.5t) だけの場合にほぼ一致する。しかし、 $l=7.0 \sim 10.0$  では、金属わくの影響が強くなり、セラミック窓としては、誘導性を示し、周波数に対するアドミッタンス変化も大きくなる。これは、長方形金属わくの長辺  $l$  を小さくするに従い金属わくが誘導性を示すためである<sup>(4)</sup>。図中点線で示したのは、 $2\phi$  のスタップを 4 mm ろう入した場合のアドミッタンスである。これと同程度の定在波比をもつセラミック窓 ( $l=17$ ) にくらべて、周波数に対する変化が大きく、このようなアドミッタンス特性では広帯域を望めない。

### 3. セラミック窓の装荷法

セラミックの薄板が、前章で述べたとおり板厚および金属わく寸法を選ぶことにより各種のアドミッタンスを示し、しかも周波数特性の変化の少ないことを利用して、セラミック窓を負荷窓として使う方法を以下に述べる。

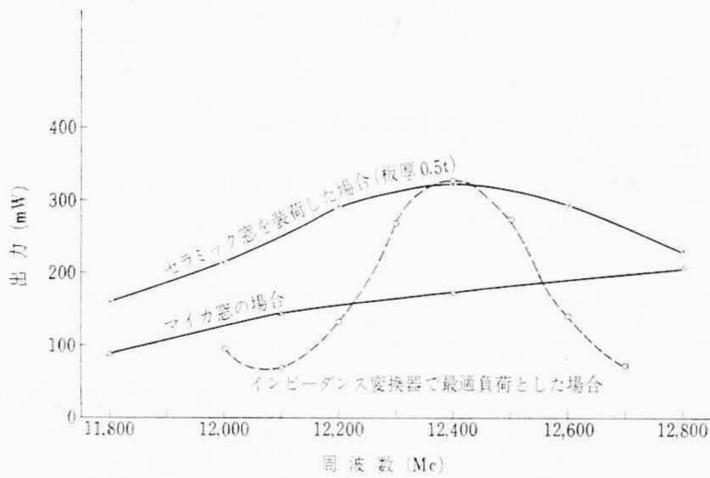
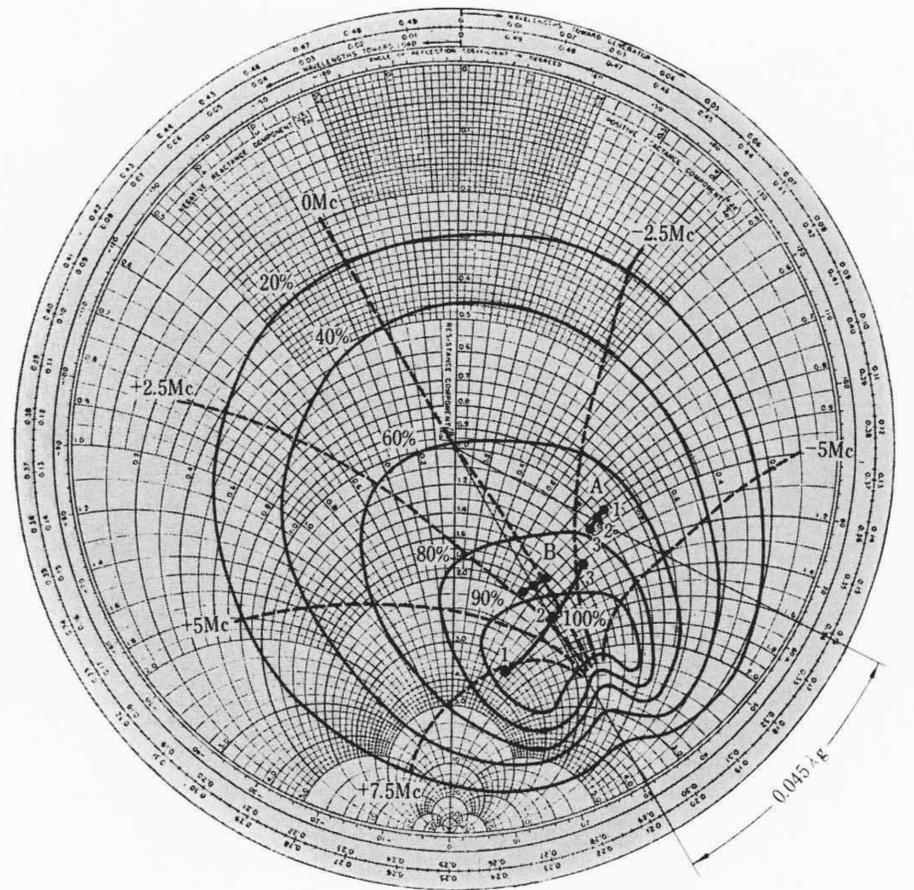
セラミック窓を負荷窓として使う場合の、セラミック窓形状の決め方は、セラミック窓を装荷する球に、マイカ窓を封着して、リー





( $E_{rs}=500V, I_k=57mA, E_r=-310V, f=12,400Mc$  モード5%)  
 1.....12,100Mc } における最適負荷アドミッタンス  
 2.....12,400Mc } 基準面は12V20フランジ端面  
 3.....12,700Mc }  
 (A) セラミック窓のアドミッタンス, 基準面はセラミック板電源側面  
 (B) 最適位置に移動させたセラミック窓のアドミッタンス, 基準面は同上

図4 日立12V20リーケダイアグラム



( $E_{rs}=500V, I_{rs}=51mA, \text{モード}5\%$ )  
 図5 12V20に、セラミック窓を装荷した場合の出力-周波数特性

ケダイアグラム（負荷に対する出力、および周波数変化をスミス線図上に描いたもの）をとり、使用する周波数帯域での最適負荷を求めて、その定在波比が最小となる値を選ぶ。

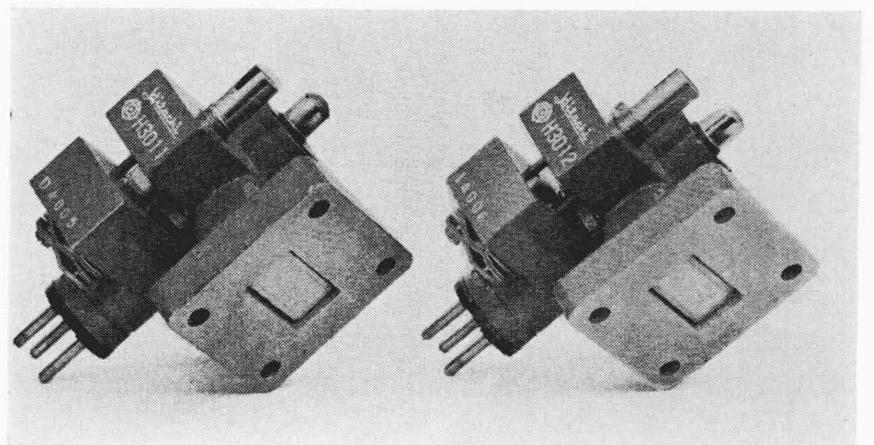
これは過負荷による発振不安定と、プリング係数が、大きくなることをさけるためである。これに相当するセラミック窓は、セラミック板厚および金属わくの寸法を適当に選ぶことによりえられる。またセラミック窓の装荷位置は、球のリーケダイアグラムを利用して、全帯域にわたって平均した出力特性となるように決める。以下実例について述べる。

日立12V20は、マイカ窓を使用した広帯域(10,500~13,500Mc)の球であるが、これにセラミック窓を装荷して、周波数帯域が12,100~12,700Mcの高出力球を設計する。図4に12V20の周波数12,400Mcでのリーケダイアグラムを示す。図中1,2,3,で示した点は、それぞれ12,100, 12,400, 12,700Mcでの最適負荷アドミッタンスである。この帯域での最適負荷の定在波比の最小値は、図4からわかるように、12,700Mcの場合で、約2.6である。A点はほぼ同じ定在波比をもつセラミック窓のアドミッタンスで、図3の $l=14$ に相当する。この帯域での最適負荷の周波数特性は、かなり大きくその位相変化は、セラミック窓のそれと逆方向であるが、セラミック窓のアドミッタンスが、B点の位置にあれば、中心周波数12,400Mcで最大出力となり、下限および上限周波数(12,100, 12,700Mc)での出力がほぼ等しくなる。

図3のセラミック窓のアドミッタンスは、基準面をセラミックの電源側面にとってあり、図4のリーケダイアグラム基準面は、12V20フランジ端面である。したがってセラミック窓の装荷位置は、その

表1 H3011およびH3012の定格

	H3011	H3012
周波数範囲	12,100Mc~12,700Mc	
陰極	傍熱形酸化物塗布 (Niマトリックス)	
ヒータ電圧	6.3V	
ヒータ電流	450mA	
空胴電圧	750V	500V
空胴電流	70mA	50mA
リベラ電圧	-205V~-395V	
平均出力	1W	250mW
電子同調範囲	70Mc/V	50Mc/V
変調感度	1Mc/V~2Mc/V	
冷却方式	強制空冷	



電源側面が、フランジ端面から  $0.045\lambda_g \approx 1.4mm$  負荷側となればよい。

図5にセラミック窓を上記位置に装荷して、出力一周波数特性を測定した結果を示す。セラミック窓を装荷することにより、平均出力250mW以上がえられる。図中点線で示したのは、インピーダンス変換器を、12,400Mcで最大出力となるように固定した場合の特性であり、これにくらべてセラミック窓装荷の場合は、はるかに広帯域となることわかる。

#### 4. セラミック窓装荷クライストロン

前述の設計法に基づいて、12,000Mc帯全セラミック反射形クラ

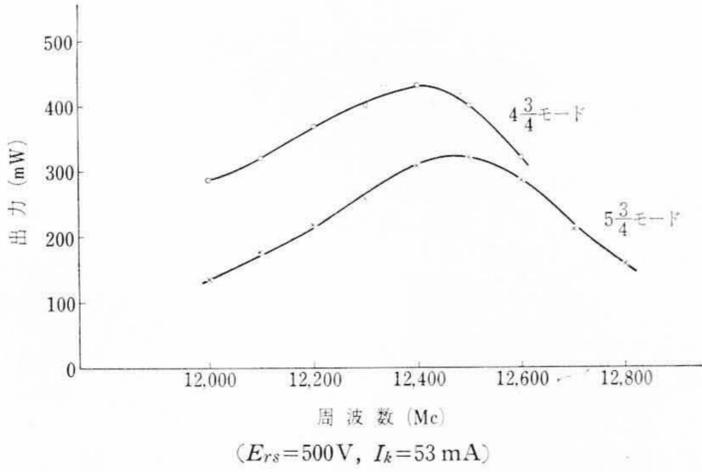


図6 H3012 出力-周波数特性

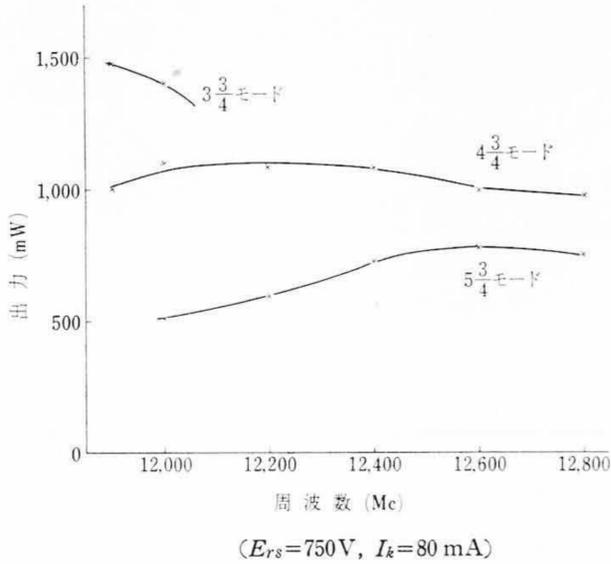


図7 H3011 出力-周波数特性

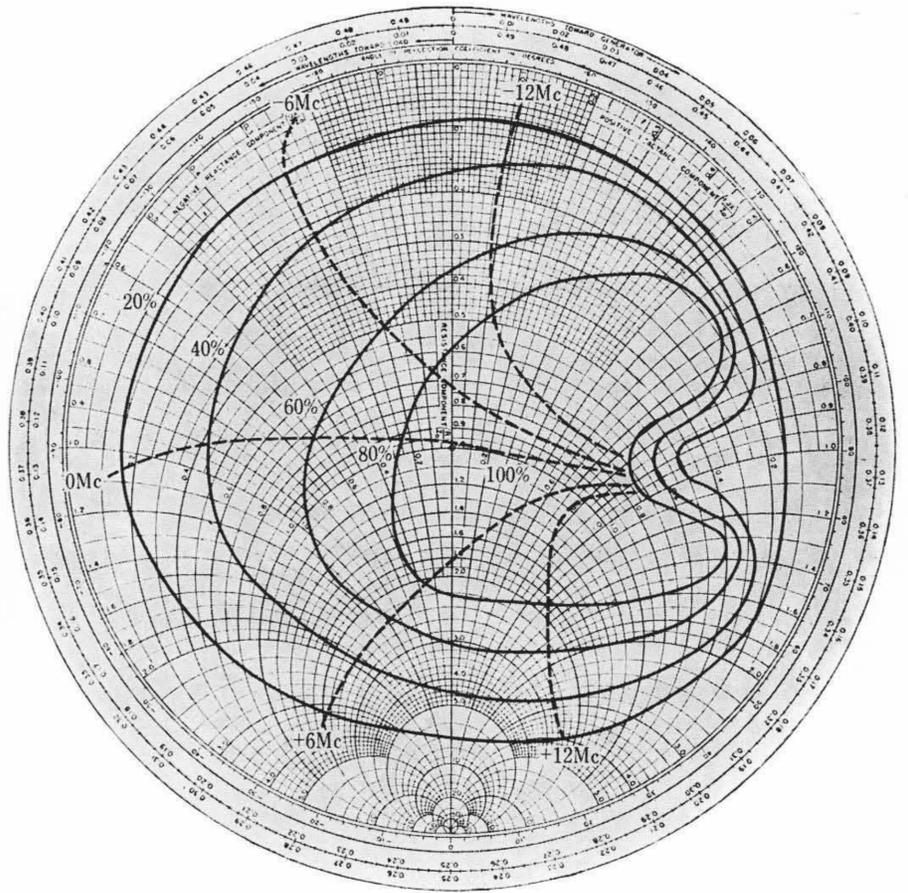
イストロン H3012 (平均出力 250 mW), H3011 (平均出力 1 W) を開発した。セラミック窓としては、ハイアルミナセラミック板を使用した。

H 3012, H3011 の出力-周波数特性は図 6, 7 に示すとおりである。正規モードでそれぞれ平均出力 250 mW, 1 W 以上がえられる。図 8 は H 3012 のリーケダイアグラムである。図 4 にくらべて整合負荷出力は 60% から 90% に増大し、発振不安定領域は生じていない。プリング係数は約 10 Mc である。

5. 結 言

以上、セラミックの薄板を負荷窓として装荷して、かなり広帯域にわたって高能率で動作する反射形クライストロンの設計について述べた。

セラミック材質としてはハイアルミナを選び板厚 0.5~2.5 t について測定し、計算値に比較した結果かなり良い一致をみたので、板厚 0.5 t のセラミック板に各種寸法の金属わくを取り付けたセラミ



( $E_{rs}=500V, I_k=57mA, E_r=-270V, f=12,400 Mc, \text{モード } 5\frac{3}{4}$ )

図8 H3012 リークダイアグラム

ック窓のアドミッタンスを測定し設計に有益な資料をえた。

今回の試作では、周波数帯域を 12,100~12,700 Mc としたが、さらに広帯域を望むには、セラミック窓のアドミッタンス特性が球の最適負荷の周波数特性ときわめて類似したものを選ばばよい。

またアルミナセラミックよりも特性のすぐれた材質のセラミックにより、より広帯域特性をうる研究も進めている。

以上述べてきたセラミック窓の装荷は、12,000 Mc 帯のクライストロンに限らず、他のマイクロ波管でも応用できるものと考える。

終わりにご指導をいただいた日立製作所中央研究所、沢田、竹本 (現在日立製作所茂原工場勤務) 両氏および実験にご協力くださった日立製作所茂原工場の皆様に感謝する。

参 考 文 献

- (1) 沢田, 竹本: 誘電体窓を装荷した広帯域高出力型クライストロンについて 昭 35 年電気四学会連大 (1369)
- (2) A. B. Bronwell, R. E. Beam: Theory and Application of Microwaves McGraw-Hill 424 (1947)
- (3) Marcuvitz: Waveguide Handbook McGraw-Hill 374 (1951)
- (4) Montgomery, Dike, Purcell: Principles of Microwave Circuits McGraw-Hill 221 (1948)