

セラミック封止送信管 Ceramic Transmitting Tubes

中田九州男* 久田 宏* 小田原弘造*
Kusuo Nakada Hiroshi Hisada Kōzō Odawara

内 容 梗 概

モリブデン法によるセラミックと金属との封止において、機械的強度の大きい封止を行うための諸条件を検討した。セラミックの材質、モリブデン粉末の粒度、メタライジングの温度およびそのほかの条件を適当にえらぶことによって引張強さ $10\sim 15\text{ kg/mm}^2$ の封止がえられ、突合せ形の封止構造を有する送信管において安定な封止作業が可能になった。この封止技術を用いた UHF 用送信管 4F16R および 5F20RA は国内で日立製作所がはじめて完成したセラミック封止送信管で、セラミック封止のほかにもいろいろな最新の技術を用いて作られ、従来のガラスを用いた送信管ではえられないすぐれた性能を示している。

1. 緒 言

電子管の外囲器としてガラスの代りにセラミックを用いるいわゆるセラミック封止電子管は第二次大戦中にドイツで実用化されたといわれ、戦後アメリカで次第に発達した。わが国でもセラミック封止の研究が最近さかんになり、すでに一般的な内容の報告はいろいろ行われているが⁽¹⁾、実用化の点ではまだ例がきわめて少ない。

日立製作所茂原工場では各種の封止技術について研究を進めているが、実用化の最初の段階として UHF 送信管 4F16R および 5F20RA の試作に成功した。これらの二品種は国内で日立製作所がはじめて完成したセラミック封止送信管である。両品種の外観は口絵のカラー写真に示した。これらの品種に採用している封止方法は、セラミックとして高純度のアルミナ磁器を用いこれにモリブデン粉末によるメタライジングを施したあと金属とブレージングによって封止する方法で、モリブデン法とよばれるものである。ほかの方法にくらべて安定な強い封止がえられている。ここでははじめにわれわれの完成した二品種を例にしてセラミック封止電子管の諸問題を考察し、次にモリブデン法において機械的強度の大きい封止を行うために必要な諸条件を検討した結果を述べる。また 4F16R および 5F20RA はセラミック封止のほかにもいろいろな最新の技術を用いて作られ、従来のガラスを用いた送信管ではえられないすぐれた性能をもっているため、これらの品種の構造、製作技術および性能について最後に述べる。

2. セラミック封止電子管の諸問題

2.1 電子管におけるセラミック封止の効果

セラミック封止を用いた電子管の得失については、これまでに多くの文献⁽²⁾に論じられているのでここで改めて述べる必要はない。ただ、従来のセラミック封止の問題

* 日立製作所茂原工場

点としてあげられているものの大部分、すなわちセラミックの加工が困難なこと、金属と膨張係数が一致しないこと、したがって電子管の構造に制限をうけることなどは、技術の進歩によって解決しうることであって根本的な欠点というべきものではない。あとに述べるように、封止強度を大きくすることによって従来困難とされていた突合せ形の封止構造が可能になったのはその一例である。われわれの体験からいうと、セラミック部品の製造方法が確立されて一定の材質のものが供給されるようになれば、従来のガラス製の電子管が用いられている分野の大部分をセラミック封止の電子管で置換えてもよいといえるくらい多くの点でセラミック封止電子管の利点が多い。

われわれがセラミック封止送信管の最初の段階として選んだ二品種は、現在製作している送信管の範囲の中でセラミック封止がもっとも威力を発揮する分野にある。すなわち、UHF のうちの低いほうの周波数範囲、300～1,000 Mc 付近では最近各種の通信機が実用されるようになったが、特にこの周波数範囲では従来適当な送信管が少ないので、現在の代表的品種である 4F15R をセラミック化して性能を上げることをはかり、またこれより高い周波数まで動作するものとして、最近 RCA が開発した 6816 に相当する品種を試作することにした。

5F20RA は 4F15R のガラス部分をすべてセラミックにおきかえたもので、同じ目的でアメリカで開発された Eimac の 4CX 250B や RCA の 7203/4CX 250B に対応する。この球でセラミック化によってえられた効果は、絶縁物の許容動作温度が上って信頼度が増したことおよびアノード冷却翼の改良と両方の効果で許容陽極損失が大きくなったことである。

RCA の 6816 に相当する 4F16R は、はじめからセラミック封止の特長を十分に生かして設計されたもので、球全体の構造が従来のものとはかなり異なっており、これと同等の性能をガラス封止の構造によって生み出そうと

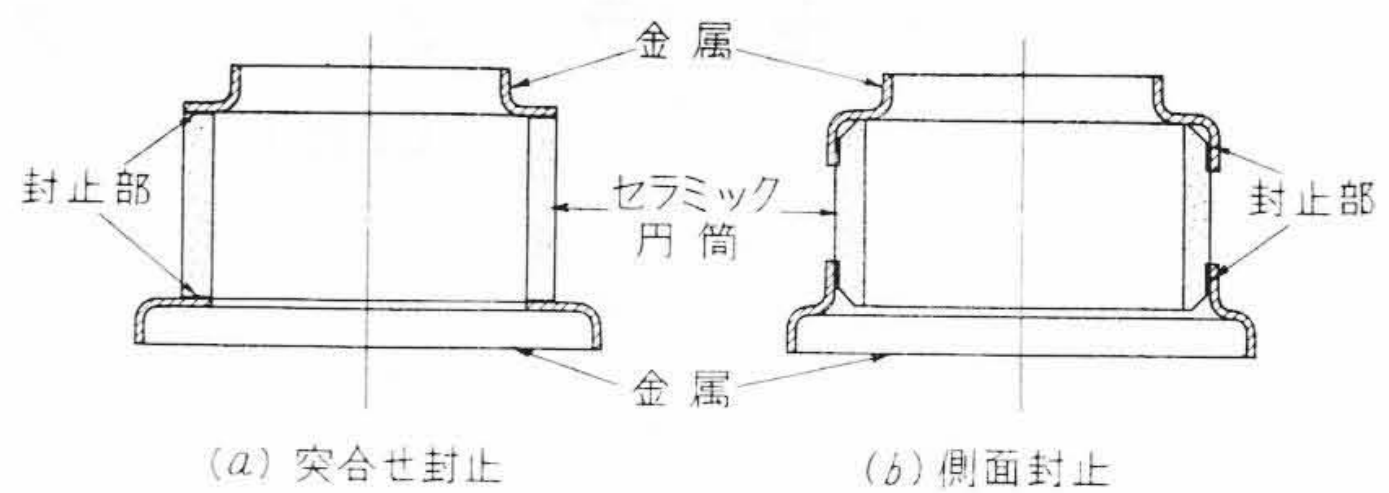
すれば設計上多くの困難がある。4F16R は後述のようにいろいろの特殊な製造技術を用いて作られ、ガラス製送信管における高周波動作に対するいろいろな制限を解決して 400 Mc で 80 W, 1,200 Mc で 40W の出力を有し、さらに高い周波数まで動作可能である。すなわち、絶縁物中の損失の減少、導入線インダクタンスの減少、グリッドの許容損失の増加などの著しい効果がえられているが、これらのすべてがセラミック封止を前提としてはじめて到達したものである。また熱的機械的に強度が大きく、いろいろな意味での信頼性が非常に高い。

電子管におけるセラミック封止の利用は、外国に多くの例がみられるが、大別するとここにあげた二品種の例によって傾向が代表されると考えてよい。ひとつは 5F20RA のようにガラス封止をほぼそのままセラミック封止におきかえたもので、従来の品種と互換性をもつ点に特長があり、動作特性の改善や信頼度の増加にかなりの効果がみられるので、今後のセラミック化の方向のひとつとして見のがせない。これに対し 4F16R のように従来品種の構造にとらわれることなく、セラミック封止の特長を積極的に利用したものは、将来の可能性に富みとくに高い周波数、大きな電力を条件とするものや高信頼性を必要とするものにおいて、従来の設計から飛躍した電子管があらわれることも予想される。

2.2 封止部分の構造と封止強度

セラミック封止の根本的な問題は金属とセラミックとをいかにして強く接着するかという点にある。セラミック封止電子管で封止強度が第一に要求されるのは球ができ上がるまでの製作工程においてである。膨脹係数の異なる金属とセラミックとを任意な形で接着し、製作工程でいろいろな加熱、冷却を繰返すと、接着が弱い場合には機械的な応力に耐えられず接着部からのリークや、極端な場合にはがれが発生する。われわれの目標はまずセラミック自体の強さと同じ程度の封止強度をうることであった。現在までに到達したレベルは、引張強さであらわして封止強度が $10\sim15\text{ kg/mm}^2$ で、これに対しセラミック自体の引張強さは $18\sim20\text{ kg/mm}^2$ 程度である。実際には封止部分の引張試験では封止部の近くでセラミックが割れ、封止部分からはがれない。このことはセラミックの強度が封止部の近くで弱くなっているかあるいは封止された状態でセラミックに大きなひずみが生じているかによると考えられる。

$10\sim15\text{ kg/mm}^2$ の封止強度は突合せ形の封止構造において一般に十分な値である。一方、封止構造をいろいろ工夫して比較的弱い封止で済むように設計することが行われている。ここでいう突合せ形の封止とは第 1 図(a)に示すようなもっとも単純な構造のものであるが、第 1 図(b)のような構造ではセラミックよりも膨脹係数の高



第 1 図 封 止 構 造 の 例

い金属を用いてセラミックに圧縮応力がはたらくようにすることができる。このような構造はもっとも多く用いられており⁽¹⁾、われわれの実験では $3\sim5\text{ kg/mm}^2$ くらいの封止強度でも実用上支障はない。しかし、われわれの 4F16R や 5F20RA では突合せ形の構造によっていろいろな利点がえられている。構造が簡単になり、部品の加工が容易になり、組立が単純化され、できた製品については有効絶縁長が大きくなり、電極の端子部分が短くできるなどである。ことに 4F16R のような同軸円筒形の電極構造では電極間隔の寸法精度を出す上に円筒形絶縁物の端面で突合せ形の封止を行うことがきわめて有利であり、また 5F20RA のようにガラス製の 4F15R と互換性をもたせるためにはガラス封止とほぼ同じ構造の突合せ形封止を行わなければならない。

このように、封止構造によって必要とする封止強度のレベルは違ってくるが、封止強度によって構造が強く制限されるようではセラミック封止電子管の発達は見えない。われわれが封止材料や封止方法の検討にあたって機械的強度を第一の目標にしたのは、セラミック封止送信管の設計に任意の封止構造が採用できるようにしたかったからである。

2.3 封止材料と封止方法

セラミックと金属とを気密に封止するためには、いろいろな材料がいろいろな方法で用いられているが、その選択の第一の条件はやはり封止強度である。

封止方法としてひろく行われているのはモリブデン-マンガン法と呼ばれるマンガンをもリブデンに添加してメタライジングを行う改良されたテレフンケン法の一つである⁽³⁾。われわれはモリブデン-マンガン、モリブデン-鉄、タングステン-鉄などの組み合わせによるメタライジングを検討したが、結局純モリブデンでメタライジングを行う方法がもっともすぐれていることがわかった。マンガンや鉄などの低融点金属を添加することの効果は、メタライジングを容易にするだけであって、より強い封止を行うことにはならないようである。これらの添加物はメタライジングの際にモリブデンの粒子の隙間に入りこんで空孔を満たすものと考えられ、モリブデンの粒子が大きい場合にはたしかに効果がある。しかし、モリブ

第1表 各種の封止用アルミナ磁器の特性

セラミックの形番	日立 C32A	DIAMONITE B-890	COORS AD-94	ALMANOX 4462	ALSIMAG 614	WESGO AL-300
Al ₂ O ₃ 含有量 %	96	92.5	94	—	96	97.6
比 重	3.72	3.63	3.61	3.88	3.7	3.71
引張強度 kg/mm ²	18~20	14.0	18.9~20.4	11.7	18.9	19.7~21.2
熱膨脹係数 { 25~300° ×10 ⁻⁷ /°C	69	—	70	—	65	—
	74	78	82	72.9	79	84
軟化温度 °C	—	1,700<	—	1,927	1,650	—
安全作業温度 °C	1,550	—	1,700	—	1,550	1,600
誘電率 (25°C, 1Mc)	8.2	9.25	8.87	9.2	9.3	9.18 (10 Mc)
力 率 (25°C, 1Mc)	0.0004	0.0006	0.00085	0.00035	0.0003	0.0001(10 Mc)

(C32A以外の数値は各社のカタログ値またはそれからの換算値である)

デンの粒度をきわめて小さくし、ほかの作業条件をよくコントロールすることによって、これらの添加物は不要になるばかりか添加物のないほうがかえって強い封止がえられる。

セラミック材料としては、やはり強度の点から高純度のアルミナ磁器がもっともよい。われわれが用いている材料は日立製作所多賀工場で製造しているが、調査から焼成にいたる全工程の厳重なコントロールが必要で、とくにフラックスの調整、粉碎時の不純物混入の防止および焼成温度の管理などが材質の良否を左右する。機械的強度および接着性の点からいって、アルミナの純度が高いことや結晶の粒が適当な大きさに均一に配列していることが必要であるが、アルミナの含有量が100%に近くなるとメタライジングに高い温度を要することや適当な大きさの結晶ができにくいなどの問題がある。われわれが用いているアルミナ磁器の特性をアメリカの代表的な封止用セラミック（いずれもアルミナ磁器）と比較して第1表に示す。

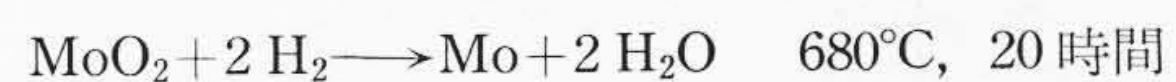
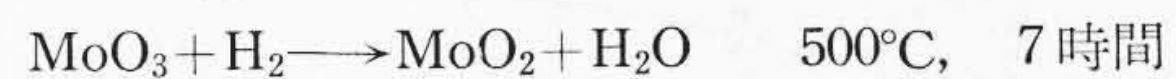
セラミックと封止して用いられる金属は、一般的にいて熱膨脹特性がセラミックとある程度一致していなければならない。この意味で、アルミナ磁器に対しては鉄-ニッケル-コバルト合金(通称コバル)が適しており、4F16R と 5F20RA とにもコバルを用いている。一方、封止強度が十分大きい場合には、セラミックと金属との膨脹の差を金属の伸びによって補うことができるから、展延性の大きい金属ならば膨脹係数がセラミックとかなり異なっても使用できる。4F16R では一部に銅とアルミナ磁器との直接の封止を採用している。

3. モリブデン法によるセラミック封止

3.1 モリブデン粉末

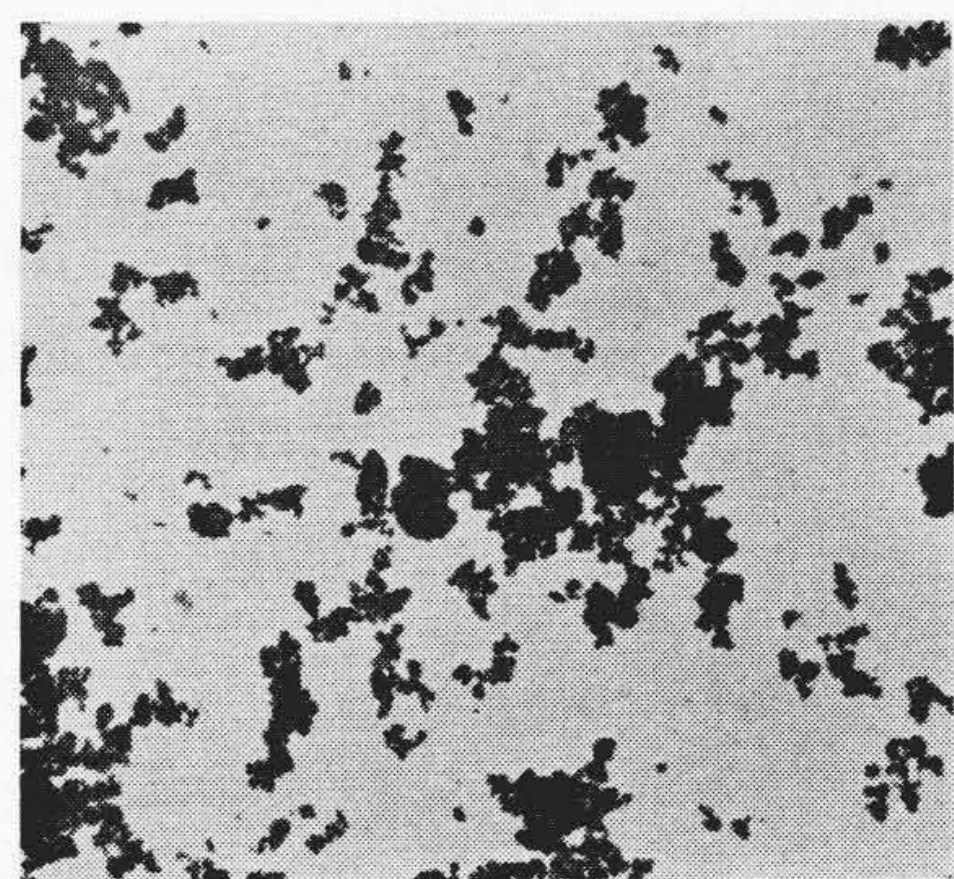
メタライジングに用いるモリブデン粉末は1ミクロン以下の微粉であることが望ましく、粒子の形状についても考慮する必要がある。このようなモリブデン粉末を市場で入手することは困難で、われわれは三酸化モリブデンからの二段還元により製造しているが、超微粉に付随

したいろいろな問題がある。たとえば比表面積が大きいためにおこる外部空気による酸化や水の吸着が品質に大きな影響を与えることや、セラミックに塗布するインクを作るときに高粘度の溶媒に一樣に分散させるのが困難なことなどである。三酸化モリブデンからの還元スケジュールは一例をあげると次のようになっている。



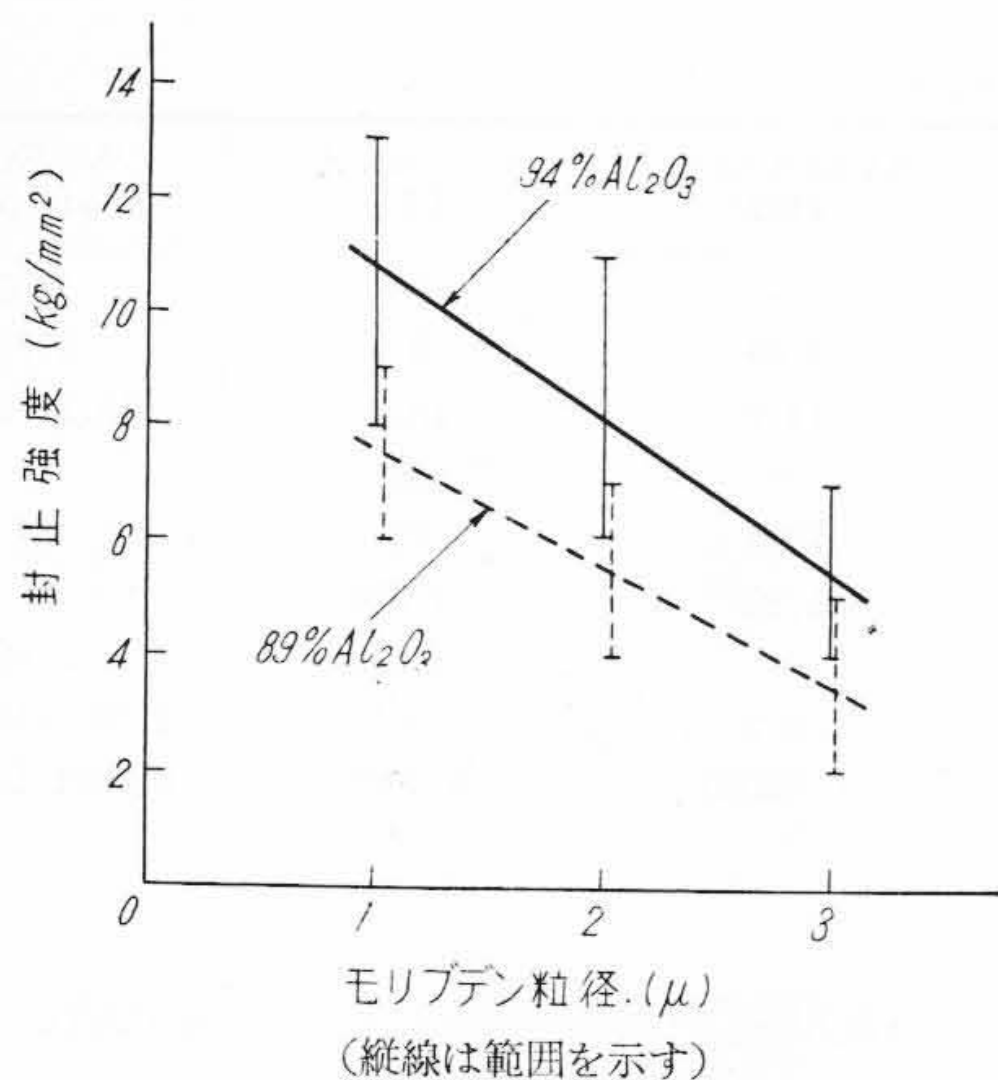
この反応は水素気流中で行われ、被還元物のチャージ量、水素の純度および流量などの因子をコントロールすることによって、1ミクロン程度の微粒子を作ることができる。この二段還元で第二段の還元を低温、長時間で行うことは質的に安定した製品を作るために必要であるが、量産のために比較的高温で短時間で行うことも可能である。第2図はこの方法で作られたモリブデン微粉末の電子顕微鏡写真である。

モリブデン粒末の純度と粒度とはセラミックとの接着強度に大きく影響する。第3図は粒度と封止部の引張強度との関係を示す例である。当然のことながらモリブデンの粒度と同時にセラミックの材質が封止強度に関係する。大きいモリブデン粒子はセラミックのグレインとの大きさのバランスがとれず接着力が弱い。モリブデンの

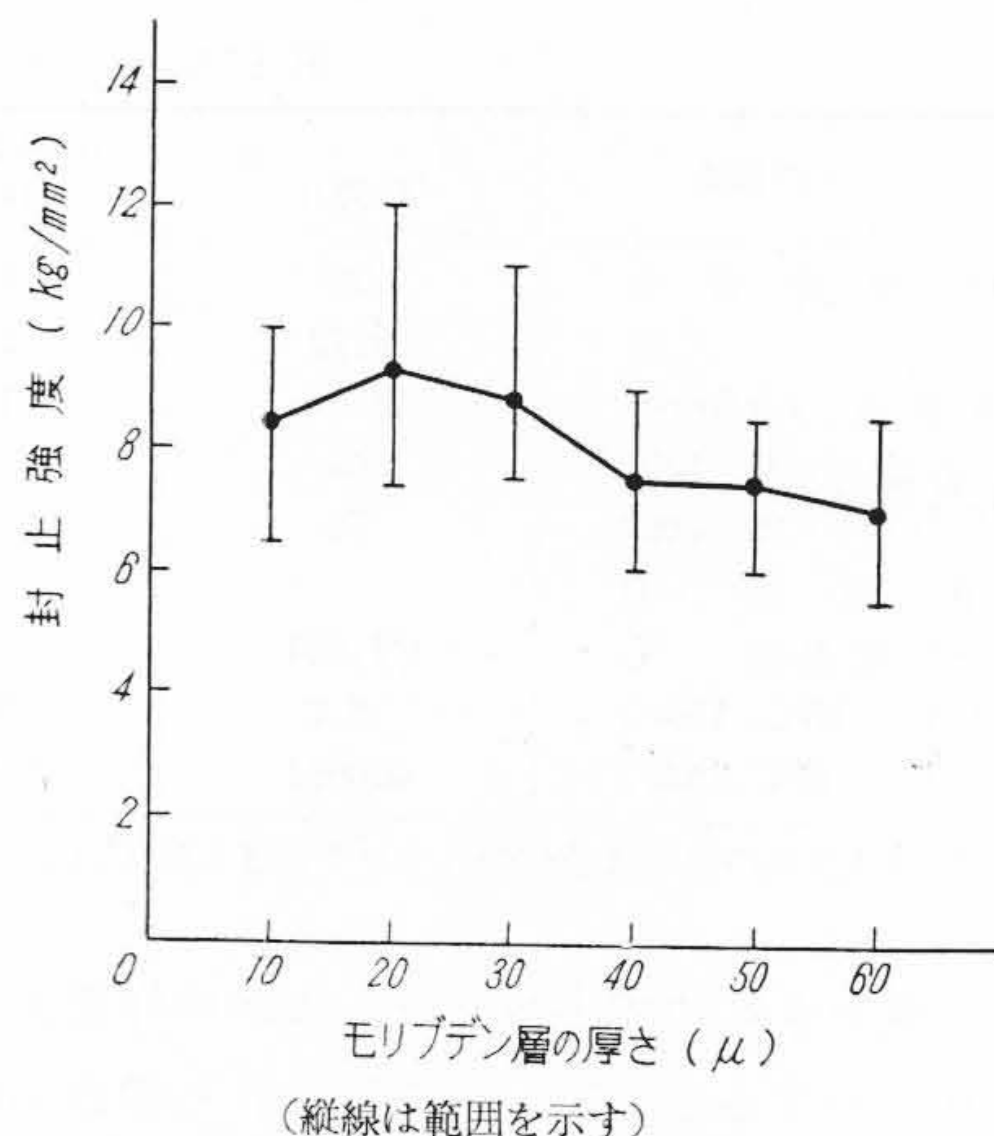


500°C 6時間, 650°C 17時間の二段還元でえられたもの

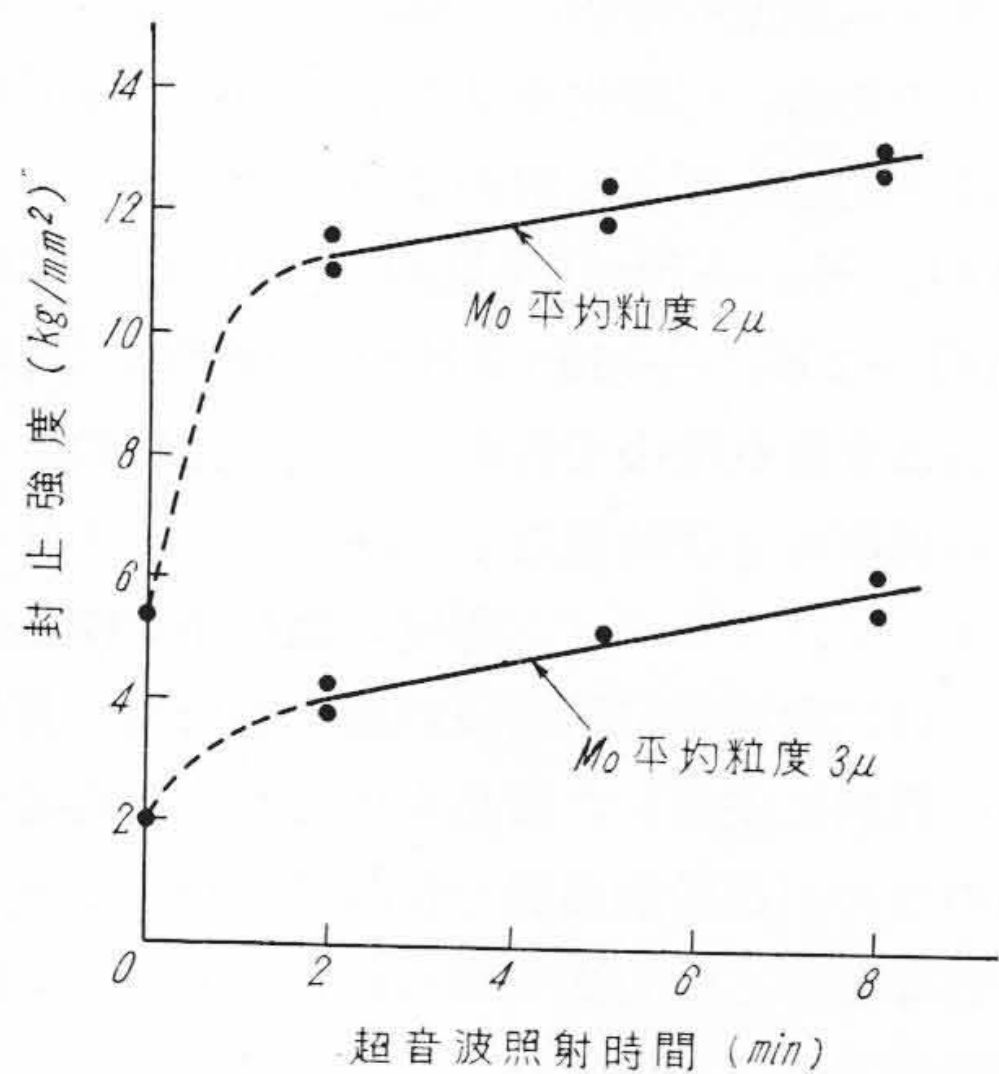
第2図 モリブデン粉末の電子顕微鏡写真 (×5,000)



第 3 図 モリブデンの粉度と封止強度との関係



第 5 図 モリブデン層の厚さと封止強度との関係



第 4 図 モリブデンインクの超音波分散と封止強度との関係

粒子の大きさがセラミックのグレインサイズと同程度かそれ以下であることが望ましいことになる。

3.2 モリブデンインク

セラミックにモリブデン粉末を塗布する場合、厚さをコントロールすることや部分的に塗布することなどの必要上印刷法を用いている⁽⁵⁾。このため印刷インクに相当するものとしてモリブデンインクが必要である。インクの粘度は一般の印刷インクよりやや高めで 1,000 c. p. くらいがよい。このインクの製造上の問題は、高粘度の溶媒中にどのようにしてモリブデンの微粉末を一様に分散させるかということである。

われわれの行っている方法は、ロールの回転速度の差を利用したロールミルの使用や超音波による分散などで、それらの分散効果は封止強度の測定から間接的に知ることができる。超音波による分散では、超音波の周波数、振動子の形状、一回の処理量などで効果が異なるが、一定の条件で超音波の照射時間を変えて分散させた

試料によりメタライジングを行ったものの封止強度の例を第 4 図に示す。この図でもわかるように、モリブデンの粒度がある程度あらい場合でも分散を十分に行うことで接着性がかなりよくなる。一方モリブデンの粒度が細かくても分散が不十分なインクでは強い封止はえられない。

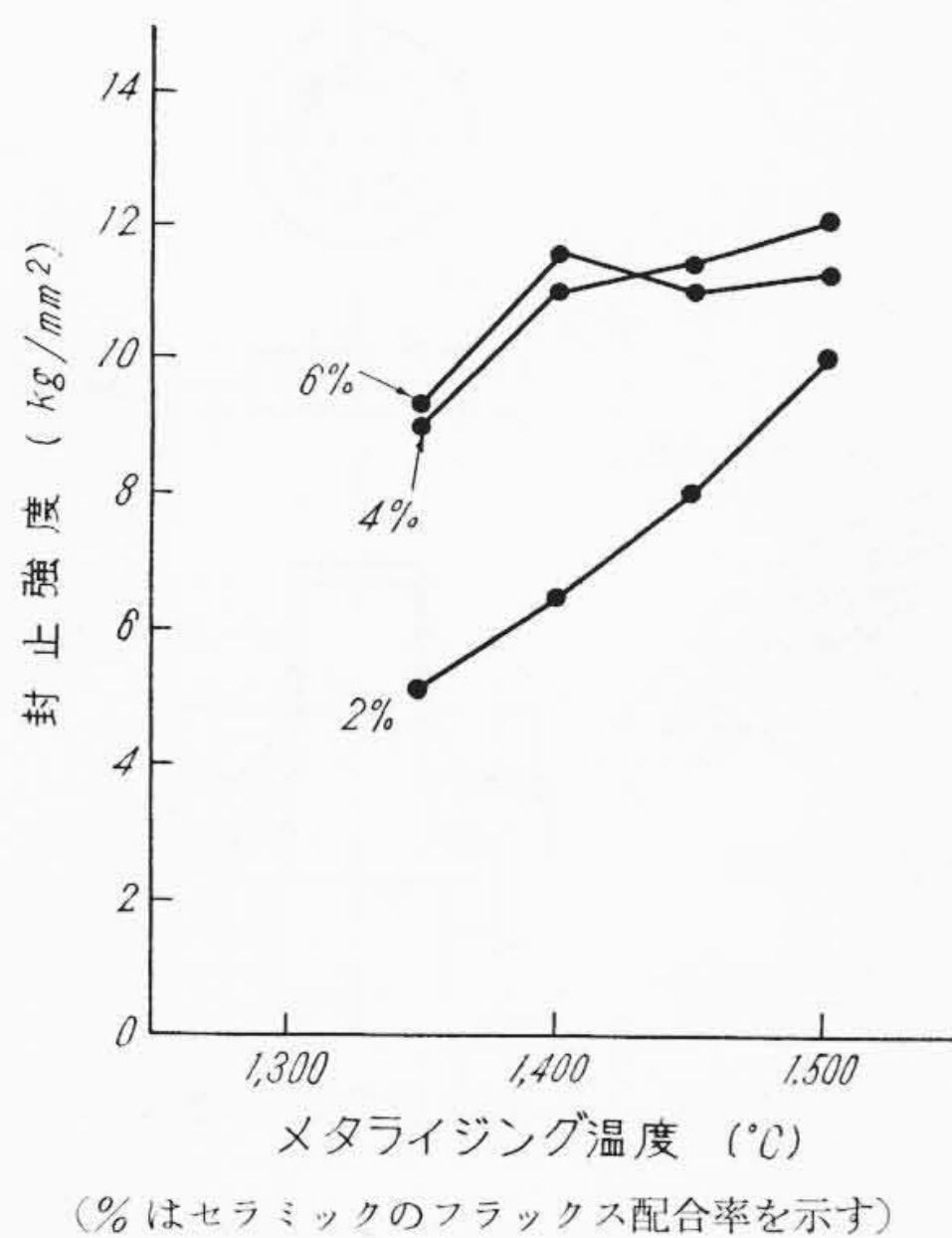
分散の困難のひとつにモリブデン粉末の水の吸着によるものが考えられる。前述の方法で作られたモリブデン粉末の粒子はほぼ球状に近いが、その表面は水を吸着しやすく、かつ帯電しやすい。このことはモリブデン粉末を分散させて pH を測定したり、ブルドン管中で電圧を印加して電気泳動を調べることによって確かめられる。溶媒中におけるこの荷電の中和によって粒子間の凝集が起るものと考えられるから、モリブデンインクの製造においては、分散の方法と同時に使用前のモリブデン粉末の取扱にも十分な注意が必要である。

3.3 モリブデン層の厚さ

セラミック表面に塗布される金属層の厚さが接着強度に影響することはすでに知られている。われわれの実験結果では焼結後のモリブデン層の厚さで 10~60 μ の範囲がよく、20~30 μ 付近で封止強度が最大になる。第 5 図はほかの条件を一定にした場合のモリブデン層の厚さと封止強度との関係を示す例である。モリブデン層が薄すぎるとセラミックとモリブデンの間ではがれやすく、厚すぎるとモリブデンの部分ではがれることが多い。適切な厚さの場合は強制引張試験を行うとセラミック自体がクラックするのが大部分である。

3.4 メタライジング

セラミックにモリブデンインクを塗布したのち、還元性気流中で高温に加熱してモリブデンを焼結する作業をメタライジングと呼んでおり、このときの温度とふんい



第6図 メタライジング温度と封止強度との関係

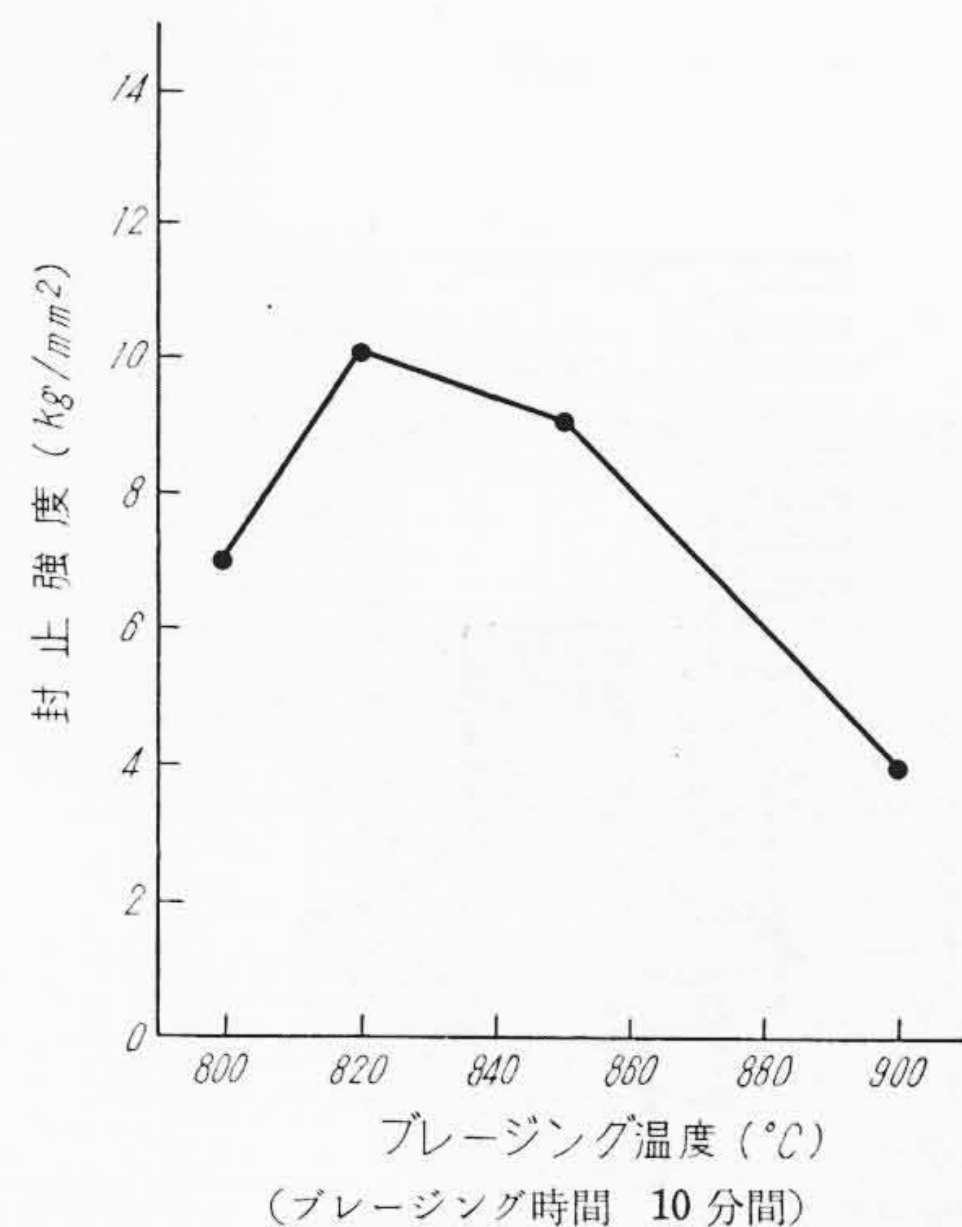
気とが封止強度に影響を与える。加熱時間はほとんど問題にならない。

メタライジングの温度は使用するセラミックの材質によって異なり、われわれの使用しているアルミナ磁器では 1,500°C が最適で、これ以上の温度ではセラミックが変形することがあり、これ以下の温度では封止強度が低下する。一般にアルミナの純度が高くなるとメタライジングに高温を要し、フラックスの量が多くなるとメタライジングの温度が下がる。第6図は温度と封止強度との関係を示す一例である。

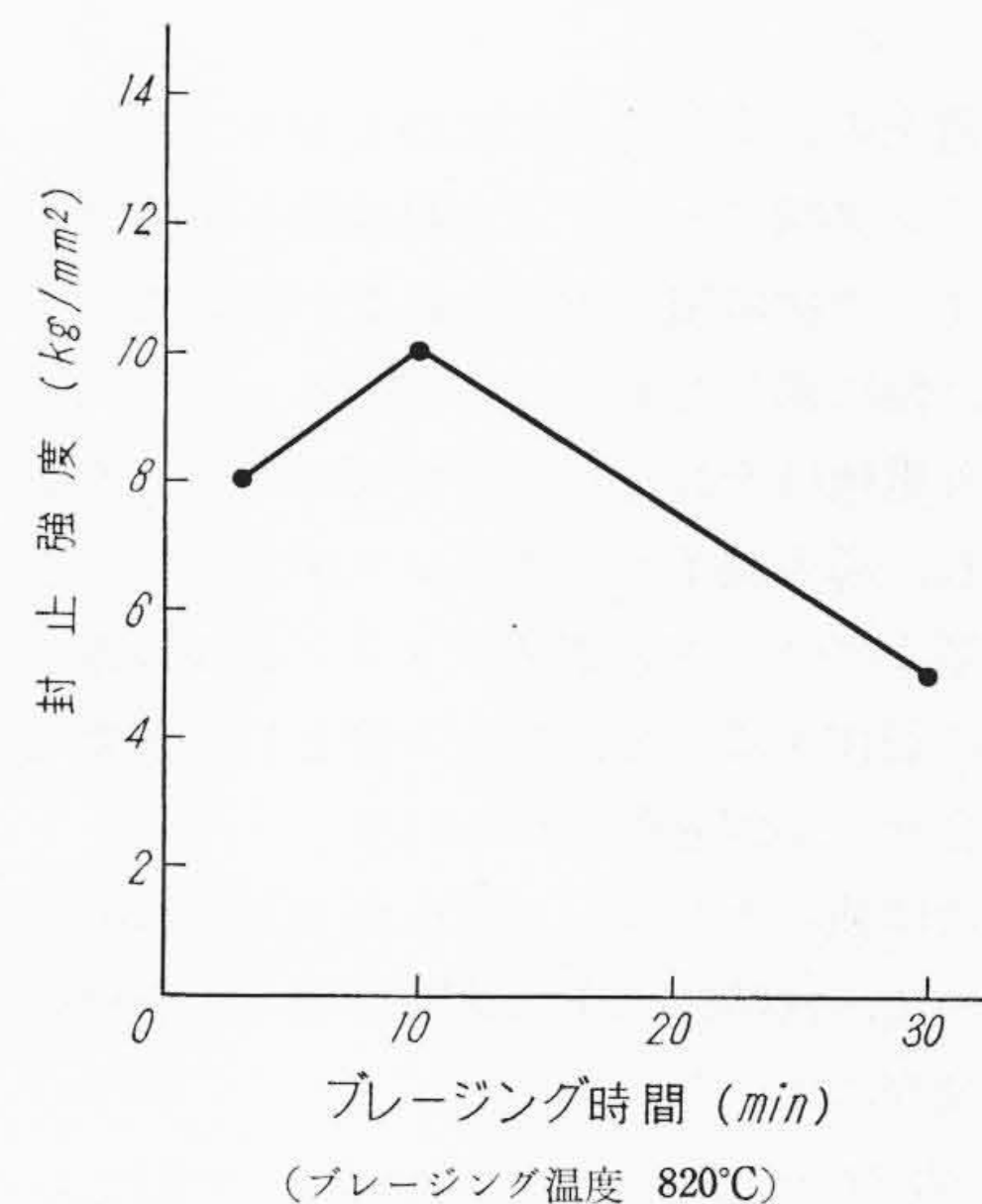
メタライジングのふんい気としてはいわゆるフォーミングガス(10%水素, 90%窒素)を用いている。これは本来還元性気体であって、モリブデンの酸化を防止するものであるが、一方モリブデンとセラミックとの結合にはモリブデンの酸化物の存在が必要で⁽⁴⁾、このためフォーミングガス中に少量の酸素を含ませる。つまりメタライジングにおいては、モリブデンに対して溶剤と結合するために酸化させないこととセラミックと結合するために酸化させることとの相反する要求を満す必要があり、ふんい気のコントロールがきわめて重要である。

3.5 金属とのブレイジング

メタライジングを行ったセラミックに対し、モリブデン層の表面を清浄にしたのち溶剤を介して金属部品をブレイジングする。溶剤のぬれをよくするためにはモリブデン層の表面にニッケルメッキを行うのが効果的であるが、このメッキ層が厚すぎたりすると封止強度は弱くなる。溶剤にはふつうの銀ろう(銀 72%, 銅 28%)を使用している。この溶剤の熔融点は 779°C で、封止は 800°C 付近で水素気流中で行われる。このとき液相の溶剤と固相のモリブデンとの間の相互拡散



第7図 ブレイジング温度と封止強度との関係



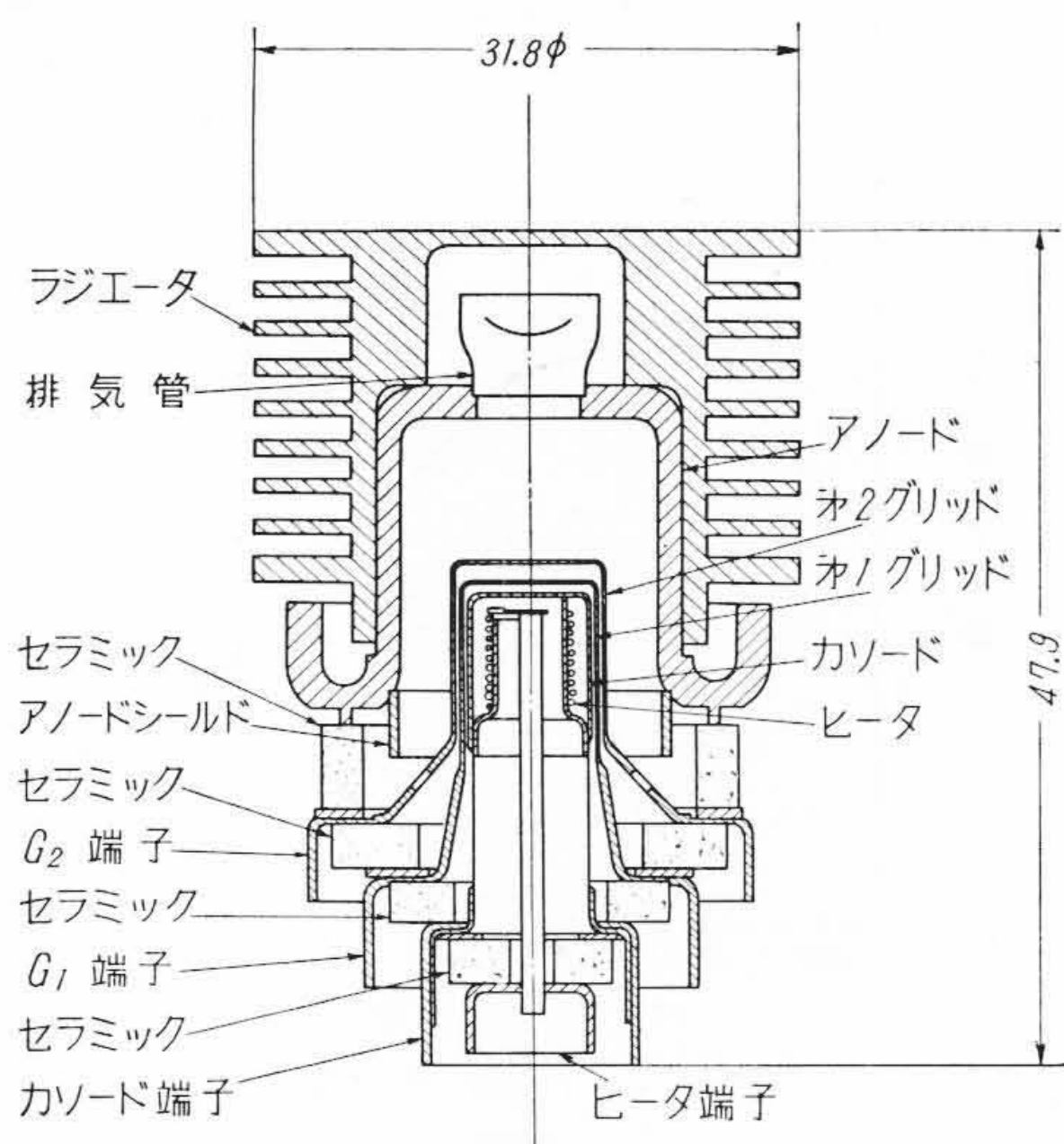
第8図 ブレイジング時間と封止強度との関係

が、モリブデン層の厚さが薄いために重要な意味をもっている。すなわち、適度の拡散によって接着力の最大になる部分があり、拡散が一定以上になると接着力が急に低下してセラミックとモリブデンとの結合部分からはがれやすくなる。溶剤のモリブデン中への拡散距離はブレイジングの温度と時間とによってきまり、これらを十分コントロールすることが必要である。実際には使用する炉や治具の構造と大きさなどによって、それぞれの場合の最適条件を実験的にきめなければならない。第7図および第8図はそれぞれブレイジングの温度および時間と封止強度との関係を示す例である。

4. セラミック封止送信管の実例

4.1 4F16R の構造と製作技術

第9図は UHF 4 極管 4F16R の構造を示す断面図で



第9図 4F16R 断面図

ある。構造上のおもな特長は次のとおりである。

- (1) リング状のセラミック絶縁物と電極導入部とをサンドイッチ状に積み重ね、組立が容易であると同時に同軸回路に適した形になっている。
- (2) 各電極はそれぞれの支持部および導入部と一体に作られ、導入線インダクタンスがきわめて小さい。
- (3) 第1グリッドと第2グリッドとは放電加工により同時に製作するので、ビーム管として重要ないわゆる「目合せ」が理想的に行われる。

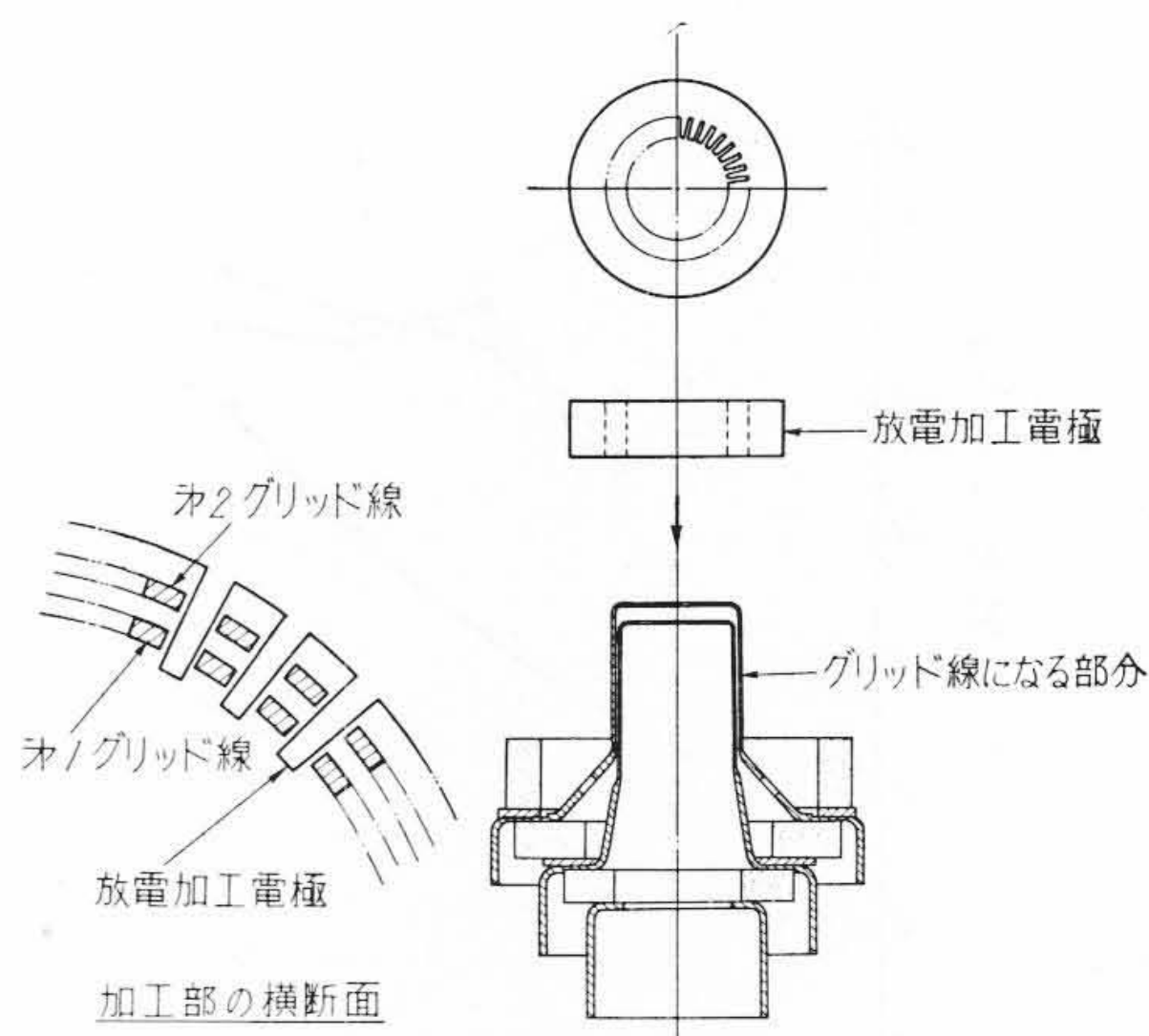
この構造は強いセラミック封止ができてはじめて採用しうるもので、同時に以下に述べるような各種の製造技術が部品製作に用いられている。

4.1.1 カソード

カソード導入線の自己インダクタンスは、超高周波動作において入力コンダクタンスを増加させるので極力小さくしなければならない。4F16Rのカソードは電子放射を行う有効部分と導入部分とが一体の金属から作られた太い円筒状をなし導入線インダクタンスはきわめて小さくなっている。

このカソードの製作にはフローターニングと呼ばれる一種の円筒圧延加工が用いられる。カソードの有効部分と導入部分とを一体にした場合に熱伝導によって加熱電力の一部が導入部へ運ばれるので、この熱の逃げを小さくするために中間部に薄肉部分を設けなければならない。このために、あらかじめカップ状に絞った部品を高速回転軸にとりつけ、外側からローラーをおしつけながら軸方向に移動することによりこの薄肉部分が仕上げられる。この薄肉部分は厚さ約 0.03 mm で良好なヒートダムとして働く。

こうしてできたカソードにヒータを挿入し、底部で



第10図 グリッドの放電加工

ヒータ端子との間にセラミックのリングをはさんで封止する。これに酸化物を塗布してカソード組立が完成する。

4.1.2 グリッド

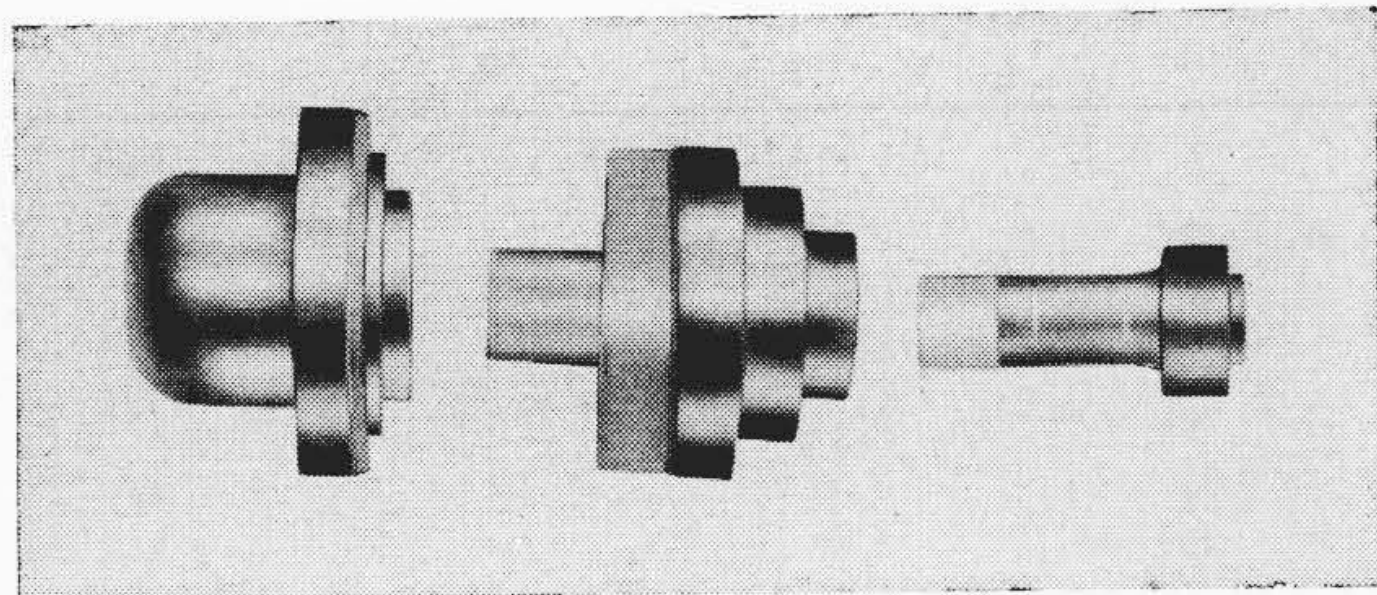
同軸円筒形の4極管では第1グリッド線と第2グリッド線との幾何学的位相を合わせるいわゆる「目合せ」の良否が電流分配特性に大きな影響を与える。従来の4極管では第1、第2グリッドを別々に作っておき組立のときに目視あるいは特殊な投影器などを用いて目合わせを行っているが、個々のグリッドのピッチ乱れや組立の誤差などによって完全な目合わせは不可能であった。4F16Rの場合には次の方法で自動的に完全な目合わせができるようになった。

グリッド線部、支持部および導入部は一体になっているが、この原形であるグリッドブランクは形状が複雑で導入部とグリッド線になる部分との肉厚は異なっている。このブランクは前述のカソードの場合と同様にまずプレスで絞り加工を行ったのちフローターニングによってグリッド線になる部分の肉厚を所要値まで薄くする。

第1、第2グリッドの各ブランクを同じ方法で作る、これらをメタライジングを施したセラミックリングと正確な治具によって組合わせ、そのままブレイジングを行う。このグリッドブランク組立てに第10図のような方法で放電加工を行う。図の放電加工電極を上から軸方向に移動させることによって、第1グリッドと第2グリッドの円筒部は同時に等間隔の切込みをつけられ、残った線状の部分が完全に目合わせされたそれぞれのグリッド線になる。

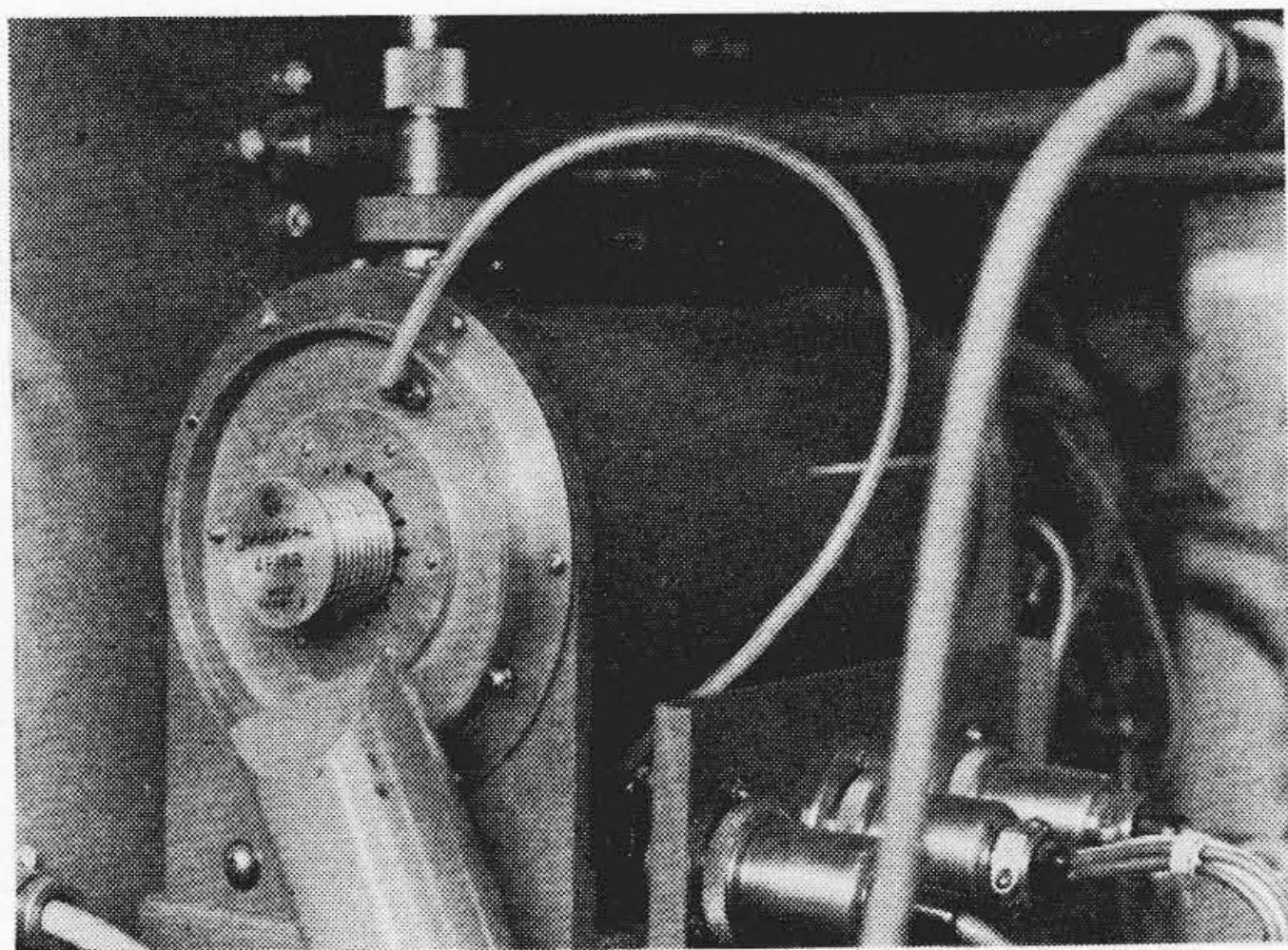
4.1.3 アノード

アノードは無酸素銅板から絞られた通常の外部陽極であるが、下端はセラミックと直接封止されるために



(左からアノード組立, グリッド組立およびカソード組立)

第 11 図 4F16R の部分組立



第 12 図 4F16R 400 Mc 増幅試験用空洞の外観

機械加工により薄肉の円筒部を形成している。

4.1.4 組 立

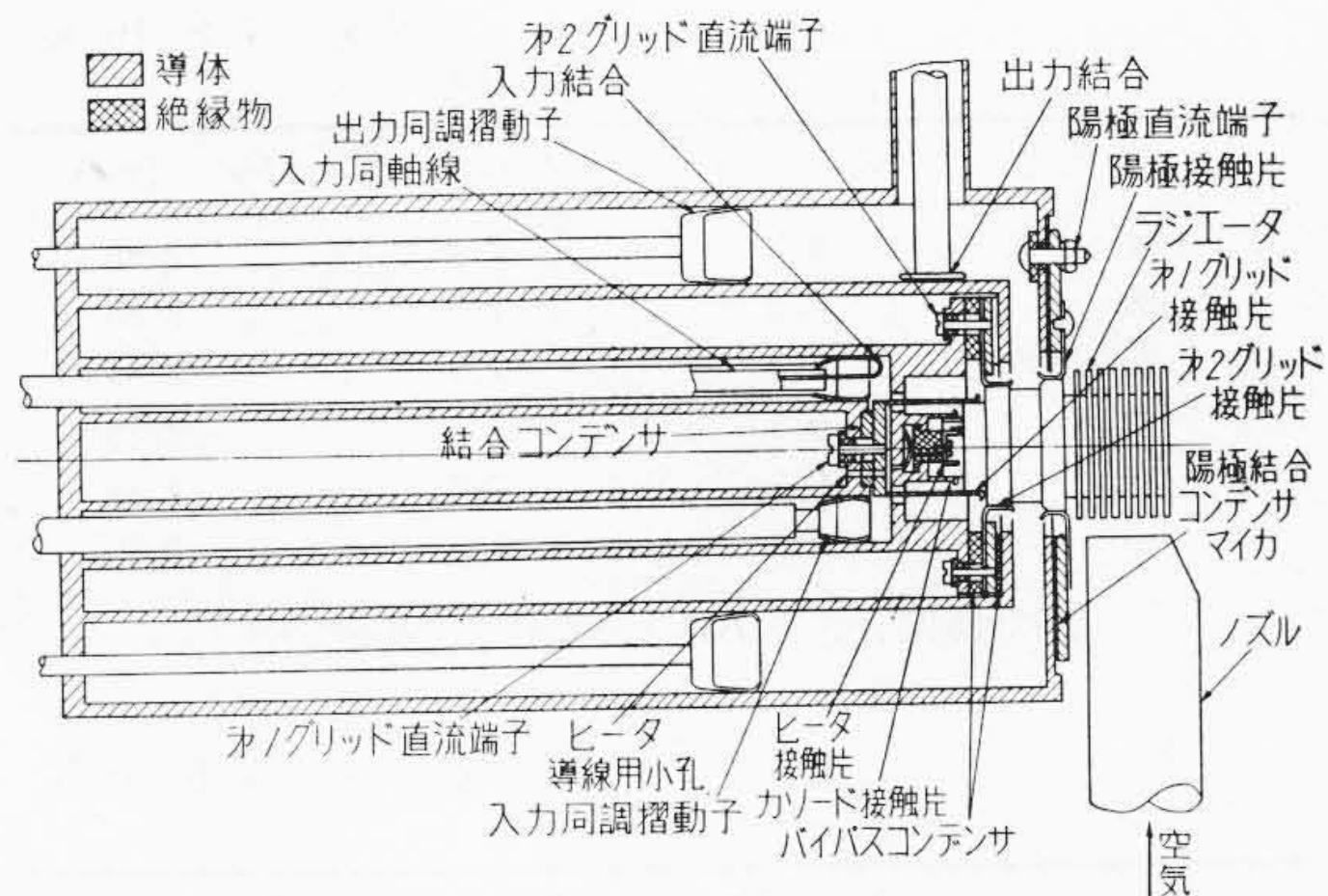
カソード、グリッドおよびアノードは特殊な治具および投影器を用いて中心軸を合わせてブレイジングによって組立てられる。第 11 図は組立て前の各部分を順に並べて示したものである。各部分組立ごとに高感度のヘリウムリークデテクタを用いてリークテストを行うが、封止部分からのリークはほとんど起らない。この最終組立の封止の際に、前に封止してある部分でセラミックのクラックが起ることがあり、最初に述べた加熱冷却の繰り返しをもっとも問題であることを示している。

4.2 4F16R の性能

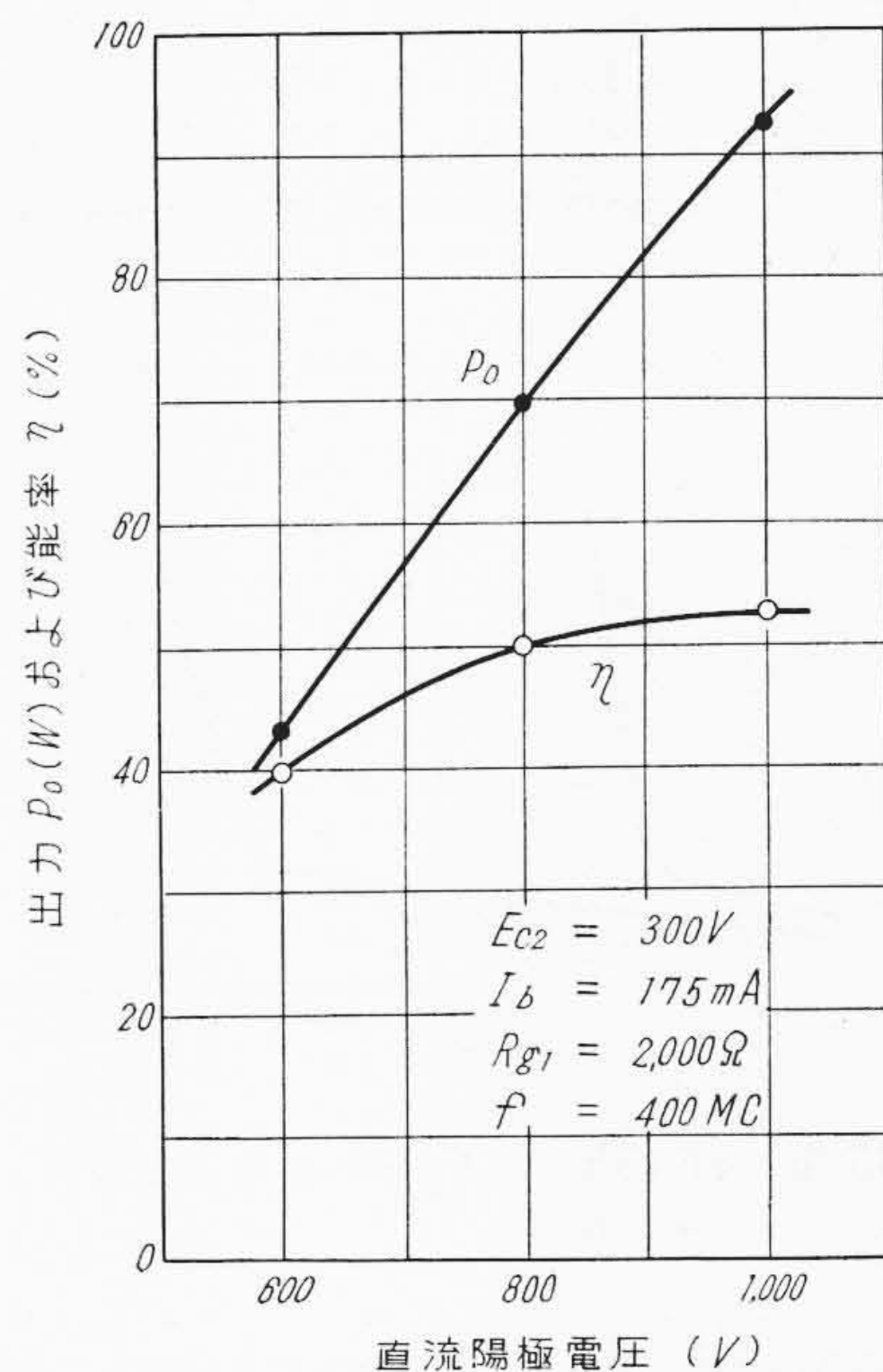
4.2.1 UHF 動作特性

UHF 動作試験用として、われわれは 400 Mc の増幅試験機を製作した。第 12 図はその供試管部を示し、第 13 図は空洞共振器の構造を示す断面図である。この試験機により、陽極直流電圧を変化した場合の動作特性の実測値を第 14 図に示す。

第 12 図の写真でわかるように、4F16R の冷却は空洞共振器から突き出たラジエータに横からノズルで空気を吹付けるだけで済み、空洞の設計に際し通風に対する考慮がほとんどいらないという利点がある。最大定格の陽極損失 115 W に対し、最小冷却風量は



第 13 図 4F16R 400 Mc 増幅試験用空洞



第 14 図 4F16R の動作特性

0.28 m³/min (流入空気温度 25°C の場合) で、セラミック封止部の温度は 250°C まで許容される。

4.2.2 グリッドエミッション

グリッドエミッションは送信管の動作を限定する最大の要因のひとつであるが、特に UHF 帯の動作では電子走行時間の影響によるグリッドの誘導電流が顕著になりグリッド損失が予想外に大きくなるので、動作不安定をひきおこさないためにはグリッドの材料や構造に十分注意して設計しなければならない。

4F16R のグリッドは前述のように電極部から導入部まで一体の構造になっており、電極部に発生する熱を伝導によって外部ににがすのにきわめて有利である。グリッドの材料は日立製作所中央研究所で開発した一種の銅合金で、機械的強度は銅よりもはるかに大

第 2 表 4 F 16 R 衝 撃 試 験 成 績

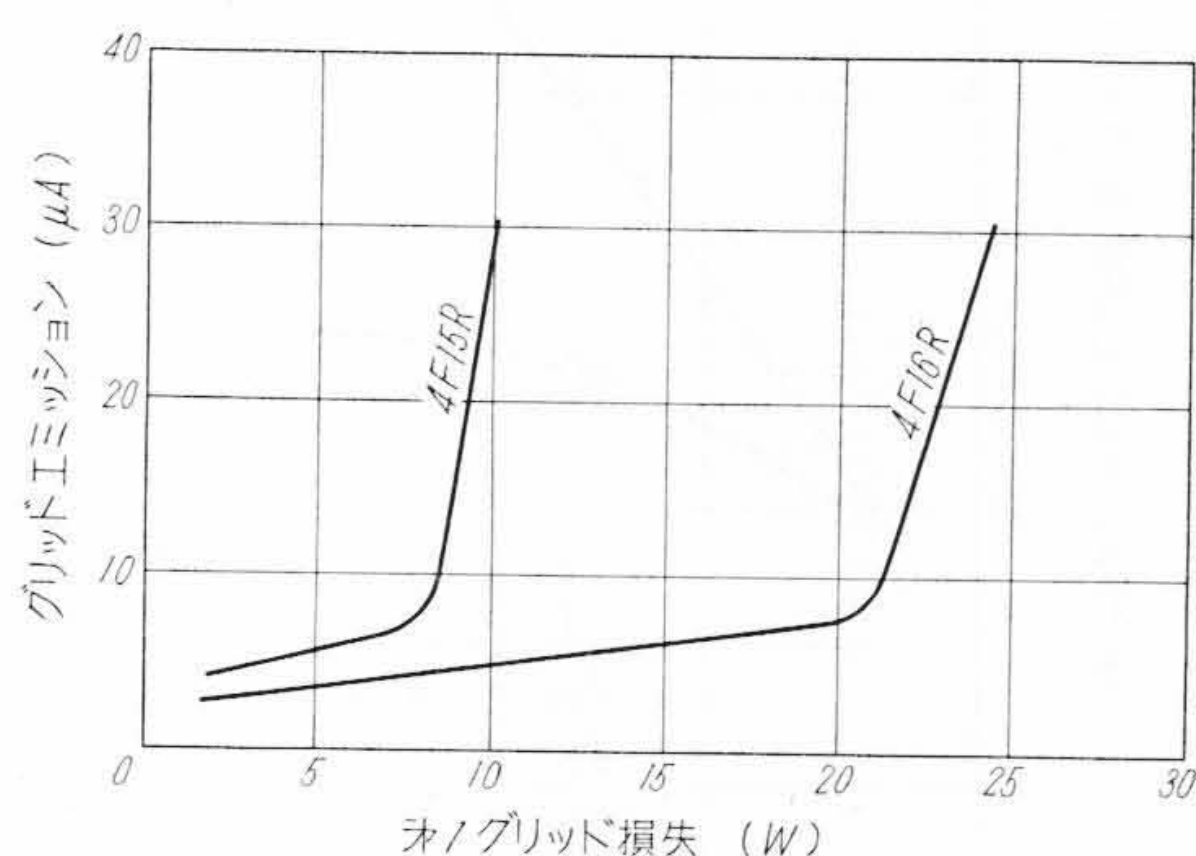
供 試 管 A				供 試 管 B			
ハ ン マ 角 度	$-I_{c1}$ (μA)	$-E_{c1}$ (V)	I_{c2} (mA)	ハ ン マ 角 度	$-I_{c1}$ (μA)	$-E_{c1}$ (V)	I_{c2} (mA)
衝 撃 前	0.3	7.4	-2.85	衝 撃 前	0.56	7.1	-3.2
20°	0.3	7.3	-2.85	20°	0.64	7.1	-3.3
25°	0.3	7.4	-2.85	25°	0.50	7.1	-3.3
30°	0.3	7.3	-2.85	30°	0.65	7.1	-3.4
35°	0.3	7.4	-2.85	35°	0.59	7.1	-3.45
40°	0.3	7.4	-2.85	40°	0.51	7.1	-3.5

静特性測定条件: $E_b=1,000 V_{dc}$, $E_{c2}=300 V_{dc}$, $I_b=115 mA_{dc}$, $E_f=6.3 V_{ac}$

第 3 表 4 F 16 R 振 動 試 験 成 績

水平方向, 供試管 C				水平方向, 供試管 D			
	$-I_{c1}$ (μA)	$-E_{c1}$ (V)	I_{c2} (mA)		$-I_{c1}$ (μA)	$-E_{c1}$ (V)	I_{c2} (mA)
振 動 前	0.5	7.6	-0.2	振 動 前	0.2	7.0	-0.8
後	0.5	7.1	-0.25	後	0.2	7.0	-0.85
垂直方向, 供試管 E				垂直方向, 供試管 F			
振 動 前	0.55	7.5	-2.75	振 動 前	1.0	8.2	-0.5
後	0.85	7.2	-1.85	後	1.1	8.0	-0.5

振動数 3,900 cpm, 全振幅 2 mm, 時間 2 分, 静特性測定条件は第 2 表に同じ



第 15 図 4 F 15 R と 4 F 16 R とのグリッド
エミッション特性

きく、同時に熱伝導度の高いものである。このため 4 F 16 R のグリッドエミッション特性は第 15 図に示したように非常にすぐれており、最大定格の第 1 グリッド損失 4 W に対し約 5 倍の安全率を有している。比較として示した 4 F 15 R の場合、グリッドの大きさは 4 F 16 R とほぼ同程度でありながら最大定格の損失は 2 W で、安全率も 4 倍以下になっている。

4.2.3 耐振, 耐衝撃性

セラミック封止電子管の一般的な特長のひとつとして機械的にじょうぶなことがあげられるが、4 F 16 R の場合ガラスとセラミックとの差だけでなく全体の構造がセラミック封止の利点を生かして強固にできているので、耐振, 耐衝撃性は非常に高く列車や航空機などにのせる移動用電子機器に用いて十分な信頼性をもっている。

振動試験および衝撃試験による特性の変化をしらべた結果は第 2 表および第 3 表のとおりで、実用上起り

うる振動や衝撃に対してまったく特性の変化が起らないと考えてよい。

4.3 5 F 20 R A の構造と性能

5 F 20 R A は従来の 4 F 15 R と互換性をもった改良形というべき品種で、電極構造, 静特性, 外形寸法などは 4 F 15 R とほとんど同じである。改良された点は次のとおりである。

- (1) 絶縁物をガラスからセラミックにおきかえた。
- (2) アノード冷却翼を改良し、冷却能率を高めた。

これらの改良によって陽極損失の最大定格は 4 F 15 R の 150 W にくらべ 250 W と大幅に増加している。

4.3.1 UHF 動作特性

外囲器に誘電体損失の大きい絶縁物を使った送信管を高い周波数で動作させると、絶縁物中の損失電力が大きくなり有効出力が減少するだけでなく、絶縁物自体は発熱して軟化し、ガス放出や吸込みなどの事故を起すにいたることがある。これを防止するには誘電体損失が小さく軟化温度の高い絶縁物を使用しなければならない。4 F 15 R のガラス部分を 5 F 20 R A ではすべてセラミックにおきかえた理由はここにあり、これによって最大定格を増大しようとしたものである。次項の陽極冷却の改良と両方で、4 F 15 R にくらべ最大定格は陽極電圧で 60%, 陽極損失で 67% と増加し、500 Mc における最大出力を約 60% 大きくすることができた。

最大定格の増加だけでなく、4 F 15 R と同一条件で動作させた場合に誘電体損失の小さい 5 F 20 R A のほうが励振電力が減り出力がふえるであろうことも推定できる。470 Mc の増幅試験機で両者を比較した結果

第4表 470 Mc 増幅動作特性

	4F15R	5F20RA	
陽極直流電圧 (V)	1,000	1,000	2,000
第2グリッド直流電圧 (V)	250	250	300
第1グリッド直流電圧 (V)	- 90	- 90	- 90
陽極直流電流 (mA)	200	200	250
励振電力 (W)	21.4	17.5	17.5
有効出力 (W)	107	116	229

(励振電力および有効出力はそれぞれ数個の実測値の平均をしめす)

は第4表のようになっている。励振電力は励振段と増幅段との間に通過電力計を挿入して測定したものである。

4.3.2 陽極冷却の改良

同一寸法で陽極の許容損失を増大させるためにはラジエータの冷却効率をよくすることと許容陽極温度を上げることの二つの方法がある。5F20RAではラジエータの改良とセラミック封止の採用とによってこの二つを実現している。

従来の強制空冷管では、アノードとラジエータとは別々に製作され、排気後にラジエータをアノードにはんだ付するのが普通であった。この方式ではアノードとラジエータとの間に熱伝導のわるいはんだの層が介在して冷却能率を著しく減殺する。またふつう用いられるはんだの安全温度は200°C以下で陽極温度がこれによって制限される。同時に、ガラスを用いた場合封止部温度がやはり200°C前後に制限されるのでこれも陽極許容温度を上げられない原因になる。

5F20RAのアノードと冷却翼は最初から熱伝導の良いソルダーで高温のブレイジングでとりつけられる。したがって間にはんだ層もラジエータコアも存在しない。またセラミック化によって封止部の安全温度も高められている(封止部の最高温度は4F15Rの150°Cに対し5F20RAでは250°Cである)。この両方によって陽極損失の許容値は4F15Rの150Wに対

し250Wと大幅に増加している。

5. 結 言

われわれの試作の主眼点はセラミック封止の特長を生かしたUHF送信管を開発することであったが、この試作を通じて封止の基礎技術が十分実用しうることを確認するとともに、セラミック封止送信管が予想以上にすぐれた性能を示すことを知った。封止の諸条件について検討した結果では、安定な封止作業にもっとも必要な条件はセラミック材料そのものであることを痛感した。この報告では述べなかったが、セラミック材料についての検討はもっとも盛んに行われており、優秀なアルミナ磁器が供給されている。特にセラミックのロット間変動が一層小さくなればさらに多くのセラミック封止送信管の開発および量産が容易に行われるようになるので、ここに紹介した二品種以外にも各種の開発に着手している。

終りにセラミック材料の開発、供給に多大の努力をおねがいしている日立製作所多賀工場の各位およびグリッド材料の開発にあたられた日立製作所中央研究所の各位に心からお礼を申しあげたい。また封止の基礎技術の研究と4F16Rの試作には日立製作所茂原工場のいろいろな部門の緊密な協力が行われた。ここに関係各位に厚く感謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) たとえば 三田ほか：東芝レビュー 13, 217 (昭33-3)
- (2) たとえば D. E. P. Jenkins: Electronic Eng. 27, 290 (July, 1955)
- (3) W. H. Kohl: Material Technology for Electron Tubes, 416 (1951, Reinhold)
- (4) W. H. Kohl: Material Technology for Electron Tubes, 410 (1951, Reinhold)
- (5) F. W. Peterson: IRE WESCON Conv. Rec., Vol. 2, Part 3, 37 (1958)