

真空管製造技術（決戦超短波技術講座）

東京芝浦電気・電子工業研究所 太田芳雄

今次大東亜戦争に真空管の重要性は俄かに増大し、最近真空管製造技術が盛に論議されるやうになつてきた。そもそも真空管製造技術は舶来のもので、我が国には殆ど技術はなく工場だけあつたのであつて、この技術確立は現下の重大なる問題である。真空管工業は、他の工業もさうであらうが、あらゆる工業の綜合であつてなかなか複雑なものであり、一部門のみが進んでも決して良い品物はできないのであるから、これが技術確立には全体の水準を上げなければ望めない。

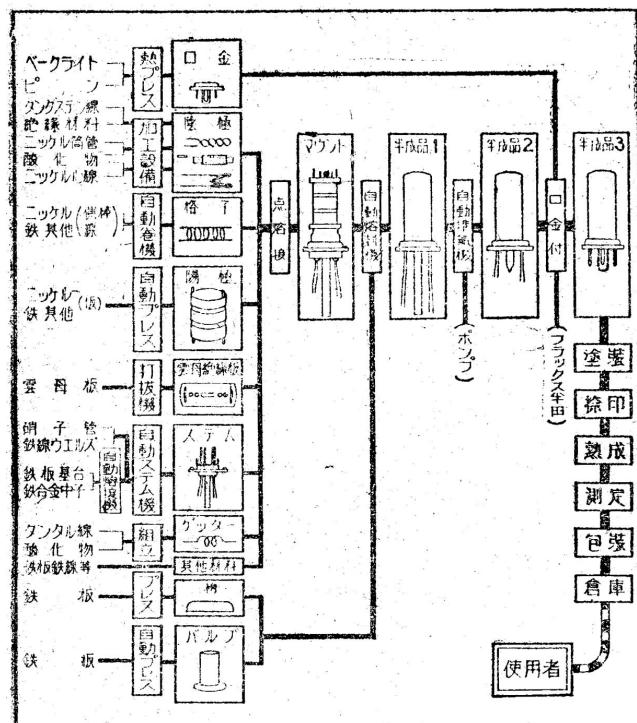
真空管組立工場を見ると、たいしてむづかしいとも思はれないやうな部品を簡単に組立てるので、どんどん真空管ができてきれるやうに大変簡単に考へられる。ところが、このやうに機械的に簡単に操作できるまでには何回となく失敗を重ね改良に改良を加へて、始めて技術が確立されたのであつて、できあがつたものを見ただけでは、この苦心が少しも目立たないわけである。しかもこの組立操作は製造技術のほんの一部に過ぎず、この工程に来るまでに一つ一つの部品を作ることが夫々非常にむづかしく、その部品を作る材料の選択がまた問題である、部品ができてしまへば、真空管の80%はでき上つたやうなものである。

そもそも真空管を10個や20個作つても何にもならないのであつて、均一性能のものを多量に作らなければ現下の作戦の間に合はない。この均一な物を作ることがまた大きな問題である。これには機械を用ひねばならないし、また作業も所謂「流れ作業」にしたいのである。これらの要求を満す部品とは如何なるものかといへば、機械にかかる前にその部品として十分に検査されて、或る規格範囲に入つたものでなければならぬ。この規格とは材質的なものと形状的なものとがあり、いづれ劣らず大切である。このやうにして材質的に如何なるものを作るか、如何にして一定の形に加工するか、この部品を如何にして組立てることか…といふこと、即ち化学と機械の綜合が製造技術なのである。

従来我が国では真空管材料の大部分を輸入し、この材料を用ひて、輸入した機械により作つてゐたのである。しかるに、戦争勃発と同時にこの輸入が二つとも途絶え、而も従来の何倍といふ真空管を軍に供給しなければならぬこととなつて、一時は大変困却したのである。しかし、その後国内の研究者、技術者の努力によつて着々とこれらの技術が確立せられつつあることは、洵に御同慶の至りである。

真空管材料は、世間に於て大変むづかしいものであると思ひ込んで居られる。しかし、それは真空管として如何なる材料が要求されるかといふはつきりした目標がないため徒らにむづかしい規格を設けて安心してゐるといった感じである。即ち、むづかしいといふよりも、判らないといつた方が適切だと思ふのである。これを解決するには、一つ一つの材料に就き真空管から離してその専門の研究をやつただけでは駄目なのであつて、やはり真空管材料といふ大きな目から総合的な研究をやらねば発達するものではない。

かういふ点が大変隘路になつて居つて、例へば金属学といふものは大変進んでゐるのであるが、さて真空管用金属材料は果して十分発達してゐるかといふと、必ずしもさうは行かないのである。この点、尚今後の研究に俟つところが大きいわけである。さて、材料の方はこのやうに未だ



第1図 真空管製造工程一覧表

整頓されてゐないし、また専門的になり、これを一々説明してゐては到底紙数がないからこれは後日に譲ることとし、茲では主として製造作業を説明し、その途中で技術的問題を探り上げて論議して行きたいと思ふ。

真空管の製造工程は大体次の如く分類することができる。(1) 部品製法、(2) 組立、(3) 封じ、(4) 排気、(5) 仕上。

超短波の真空管には送信管と受信管及びブラウン管等があるが、これらは大体製造工程が似てゐるから、茲では主として一般の金属真空管の製造工程を述べたいと思ふ。

図を見ると一目瞭然に製造工程が判ると思ふが、茲で、この内容を少しく詳しく説明してみよう。先づ電極から述べる。

陰極

直熱型と傍熱型があるが、傍熱型に就いていへば、外側に電子放射性物質を塗つた金属筒の中に、これとは絶縁して加熱線を装備したもので、この加熱線はタングステン、モリブデンまたはこれらの合金線でできて居り、この線のやうにコイル状または二重巻コイル状になつてゐると、直線に折曲げた折曲式のものとある。この上に絶縁物普通はアルミナであるが、非常によくシンターした所謂アランダムと称する粉をバインダーと共に溶して塗布してある。金属筒はスリーブと称し、普通ニッケルでできてゐる。この外は電子放射性物質…現在は殆どバリウムとストロンチウムの混合、または複合炭酸塩であるが、真空中で分解すると Ba 及び Sr の酸化物となつて電子を出すやうになるのである。この際、この酸化物の中に少量できる Ba が電子放射の中心になるのであつて、なるべく多くの Ba が過剰に出るやうにするには色々技術的に問題があるのである。これは稍々専門にわたるから簡単に述べるが、兎に角材質的にまたは取扱上大変デリケートなもので、従来は矢鱈と神秘的なものとされて居つたのである。しかし現在は我が国で電子放射の隣組等で相当に研究が進められ、大分はつきりして来つつある。その研究の中の一つに、この基体となるニッケル・スリーブの材質が大変影響することが判つた。即ち、ニッケルの中に不純物のある場合に、害になる不純物と益になる不純物とがあり、良い不純物を入れないと良い真空管ができるにくいのである。だから余りニッケルが純粋であると、却つて害のない代りに良くもないといふことになる。

従つて、このニッケル・スリーブの製造法は電解で作る方法と、地金を熔かして作る方法とあるが、電解で作るよりは地金を熔かして、その際色々の脱酸剤を入れたものの方がよいのである。その製法は地金を熔かし適当な脱酸剤を入れて鑄造し、これを加工して板にしたものを注射針を作ると同様に絞り、加工によつて筒にするのである。そして、その長い筒を一定の長さに切つて後清浄しこれに電子放射物質をスプレー・ガンで吹きつけて乾燥する。これを寸法を限定する限界ゲージによつて厚さを検査し、一定範囲に入つたものだけを合格せしめ、不合格品は炭酸塩を酸で分解せしめて、再びスプレーする。この規格は性能のよい真空管ほど厳格で 1/100mm の精度を要求する。故に、部品工場から出るものは組立工場では安心して使用できるわけである。

格子

送信管では籠型とか羽根のついたのとがあるが、受信管では大体図のやうなものばかりである。この製法は手巻と機械巻とあり、手巻は簡易な型…これをマンドレルといってゐるが、この上に側棒を置きこれに格子線を巻きつけて電気熔接するのである。手巻の欠点は精度が十分でないこと、速度が遅いこと等である。そこで多量生産には次の機械巻が発達した。機械巻ではカッターがあり、これで側棒に切れ目を入れてこれに格子線を埋め、かかる後にハンマーで叩いて埋め込むのである。これを機械的に連続して行ふため精度が良いのである。

これらの方法でできたものが歪さへ入つてゐなければ油を取るだけで、そのまま使用してよいのであるが、歪が入つてゐるために成型をする場合が多い。これが格子製作の大きな作業の一つである。この方法は一つ一つ型に入れてやるのであるが、側棒が銅やニッケルのやうに軟いものであれば簡単であるが、鉄の如く硬いものでは十分に焼鈍しなければ困難なので、このとき格子線も同時に焼鈍されて強度を失ふから、このやうな点でまた格子側棒と格子線との材質の相関性を考慮しなければならないことになる。従つて、現在では未だ側棒にニッケルを使用してゐる部分が相当にある状態で、吾々技術者として誠に恥しい次第である。

また特性上、即ち格子の温度を下げる意味で銅の如き熱伝導の良好な金属を用ふる場合は、熱伝導を下げないで機械的に丈夫なものを作るといふことも必要である。ところが形の小さいもので、例へばエーコン管等の格子は 1cm の長さに 80 本くらゐの格子線を巻くので、カッターの非常に薄いものを用ふる関係上余り硬くても困る。このやうに互に矛盾した要求があるので、これらをよく満すやう特殊な金属を研究してゐる。結局、格子の生命は目の間隔と径の寸法で、これを十分正確に保つやうにすることは、神経を使ふところである。エーコン管等は陰極と格子線との距離が 100 分の何 mm といふ程度であるから、格子と陰極の寸法が如何に厳密を要するかが納得できると思ふ。

陽 極

これは加工の点ではたいした問題はないが、材質的にガスの出ないものといふ点で問題が大きいのである。また金属材料としては最も大きな部分を占めてゐるので、資源的には一番問題である。大部分鉄で作つてゐるが、未だにNi, Mo, Ta等貴重な材料を用ひてゐるものも大分あり、今後の研究を要するところである。この加工は現在のところ殆ど全部板からプレスで図のやうな恰好に打ち抜いてゐる。

電極は大体この三つである。これを雲母で止めて相互に動かないやうにして電極構成を終るのである。

雲母は天然に塊となつて採取するが、これを0.2~0.4mmの厚さに剥して使ふ。この剥した大きさによつて番号がついてゐる。大きい方から1号、2号...8号くらゐまである。これから図のやうな形に打ち抜くのであるが、真空管の種類によつて色々大きさがあり、8号でも使用できる部分もあるが、小さい雲母から漸く1枚くらゐを取るのでは時間がかかるので、1台の機械からできる数が大変少なく能率が悪いから、なるべく大きいのを使ひたいのである。

さて、この簡単な穴をあけるにも、これを作る型が必要で、その型も非常な精度を要求される。1/100mmくらゐ狂つても特性に響く。この精度は電極の精度と同じ或はそれ以上要求される。その上この型は何百枚か抜くと減つてしまつたり直さねばならないので、簡単に見えるが大変厄介な代物である。以上で電極構造ができ上る。次に電極から、引出線を出す部分...システムに就いて述べる。

普通ガラス・システムは電球と同じやうな型であるが、金属管は図のやうに所謂ボタン・システム式になつてゐる。これは口出線の影響を少なくするためにある。製法はガラスと同じ膨脹係数を有する金属製の輪の中に図のやうに導入線を詰込み、排気管をつけてモールドして作る。しかる後適当に処理して仕上げる。これを一つ一つ行ふと1個に就き数分を要し、多量生産にならない、またガラス細工が一定條件に行ひ難いので壊れる率も多い。故に現在は多頭式の機械を用ひ、條件を一定にし、而も多量に作れるやうになつてゐる。これも機械の御蔭である。

導入線は内部支持導線と封入線と外部導線の三つからできてゐる。これをガス溶接または電気溶接で接合してある。金属真空管ではこのやうな導入線を普通8本用ひてゐる。この導入線の上に電極をつけ、次にゲッターをつけるとマウントができ上る。このゲッターは色々のものが使はれ一定してゐないのであるが、このゲッターは酸化物陰極性能を支配する重要なもので、単に所謂ガスを取ればよいといふものではない。勿論普通のガスを 10^{-5} mmHgくらゐまで吸はなければならぬことは勿論であるが、特に酸素の圧力 10^{-10} mmHg以下に保つものである、材質は主としてバリウムを用ひ、この活性バリウム金属を如何にして純粋に管壁につけるかといふのに色々な方法がある。バリウムは単体としては空中で不安定であるから

- ① これを管の中に入れて用ふる方法。これが管状ゲッターである。
- ② バリウムをAlまたはMgと化合せしめて、空中では安定であるが、温度を上けるとバリウムとして蒸発せしめる方法。
- ③ バリウム化合物を還元剤と共に混合し、高温にて還元してバリウムを蒸発せしめる方法。

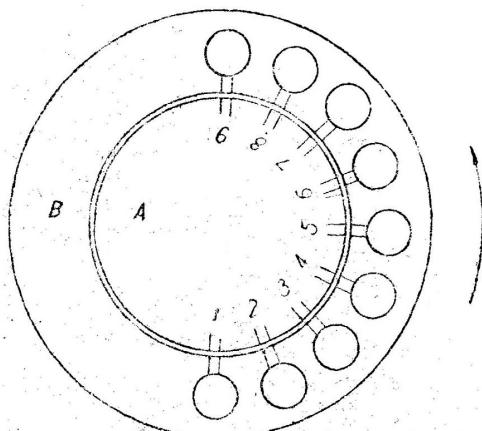
等がある。また温度を上げる方法としては金属板または
これを環状にしたもののに載せて高周波電気炉で熱するのと、導入線により直接電流を通して熱する方法がある。金属真空管では高周波電流で管の方が熱せられてしまふから直接電流を通すより仕方がない。例へば、タンタラム・リボンの上にバリウム化合物を塗布し、これに電流を通して熱しバリウムを蒸発せしむることができる。このやうにマウントするときはゲッターは安定化されるのである。

封 じ

さて、でき上つたマウントにバルブをつける。硝子球の場合は硝子球を被せて硝子細工により封じ作業をする。金属管の場合は図のやうな形をしたバルブを被せて電気溶接により気密に封する。いづれの場合も相当熱が発生するから、この熱衝撃によりガラスが壊れないやうにすることが重要な技術である。しかし、この技術も大半はシステム製作の適否にかかつてゐると考へられる。

排 気

少数のものを作るとときは、1個づつまたは一度に数十個排気台に取付けて手作業により排気する。方法は先づバルブ焼のやうに全体を300~400°に熱して管壁からガスを出させる。次に電極を熱して排気し、最後にゲッターを働かせて後排気管を閉ぢる。硝子真空管では高周波電気炉を用いて電極を熱し、陰極だけは電流を通して熱する。そしてこの際電子放射性物質を活性化するのである。金属管の場合は直接焰で管壁を熱し、この熱で内部の電極を熱する。勿論、陰極は前と同じやうに電流で行ふ。



第2図 自動排気機械機構略図

この操作を機械化したのが自働排気機である。その構造を模型的に示せば図の如く、A部分(固定)とB部分(回転)とがあり、これが完全に摺合せられてある。そして、両方共放射状に溝が切つてあり、Bの方に排気すべき真空管がついてゐる。Aの溝の端には1, 2, 3…のポンプで排気すればよいのであるから、夫々十分に目的に応じた能力を発揮できるわけである。1個づつ排気する場合の如く一つのポンプで荒引も仕上も兼用するといふ必要ない。従つてポンプの寿命も長く、排気に要する時間も短い。このことは酸化物陰極を用ふる際に特に必要な事項である。排気条件の悪いときは絶対に良い真空管はできない。製造技術の重要な部門である。この機械は普通溝が16~24くらゐあり、始めの方で電極を熱し、中程から陰極を熱し終りにゲッターを飛ばせるといふ順序である。

次に、これにベースを取り付ける。ベースは普通ベークライト系成形品でこれにピンが植込んである。このピンの数により真空管の名称の一部にX, Y, Z, T等の符号を入れる場合もある。このピンは真空管の本体としては重要なものでないに拘らず、大変な手間がかかるものである。而も外に露出してゐる関係上、特に南方等に於て錆びて接触不良となる虞れがあるので、電極には鉄を用ひても、ピンには真鍮を用ふるといふ具合に大変厄介である。そこで、近來はこのやうなものを用ひない「ベースなし」の真空管が好まれる傾向にある。

しかし、現在は未だ大部分これを用ひてゐるので、やはり説明する。前のやうにしてでき上つた真空管の外部導線を1本1本ベースのピンの中に挿入し、ピンにハンダづけをする。またベースと硝子管球は色々な接着剤(これも普通ベークライト系のもの)でつける。この接着剤もなかなか色々な條件があつて満足なものが得られなく、よく巷間に於てベースのガタガタになつたのがあるが、それを見るたびに赤面する次第である。

これで真空管の形ができ上つた。これを次にエージングする。この意味は製品を安定化することが最大目的である。具体的にいへば排気走査中陰極が十分活性化されないものを完了する。ゲッターのガス吸収十分でないものを、放電によつてこれを促進することである。この操作によつて或る程度排気を補ふことができる。しかし、排気の悪いものはエージングを行つても駄目である。エージングを終へた後試験を行ふ。試験には静特性試験、動作試験、振動試験等、電気的・機械的に色々な試験を行ひ、これに合格したものが市場に出るわけである。

以上製造工程を主として述べ、本題にある技術に関しては余り触れる余裕がなかつたが、これにて幾分でも真空管製造に対する理解が深められれば幸ひである。〔終り〕

(『無線と実験』1944年4月号。旧漢字は新漢字に変更した。仮名遣いは原文のまま。読みにくい文字にはルビを附けた)