

メタルバック受像管におけるアルミニウム膜の形成について

On the Formation of Aluminum Film of the Television Picture Tube

入 江 博 厚*
Hiroatsu Irie

内 容 梗 概

テレビジョンの最近の発展ぶりを初めとし、いわゆる受像管の進歩にはめざましいものがある。その結果受像管の性能に対する要求は著しく高くなつてきている。

受像管蛍光面の背部にアルミニウムの薄膜を蒸着させて、蛍光面の特性を著しく改善したメタルバック受像管によつてその性能、品質は画期的に進歩した。以下メタルバック受像管の原理、アルミニウム薄膜を完成するにあつて問題になる諸因子について行つた若干の考察と実験について報告する。

〔I〕 結 言

テレビ用受像管は、ここ数年間に電気的特性、形状などにめざましい改善、進歩が加えられてきたが、周知のように蛍光面の背部にアルミニウムの薄膜を蒸着させて蛍光面の特性を著しく改善したメタルバック受像管によつてその性能、品質は画期的に進歩した。

すなわち、メタルバック受像管が従来の受像管に比してすぐれる点をあげると次のようである。

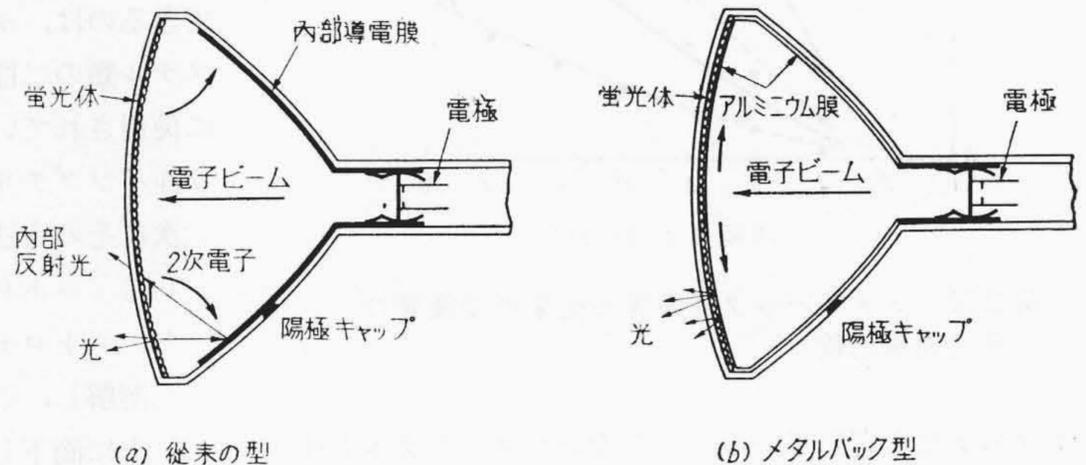
- (1) 発光能率を倍加する。
- (2) 映像のコントラストを向上する。
- (3) 蛍光面の電位降下を防ぎ、膜焼けを防止する。
- (4) 管内真空度を向上させ、寿命を向上させる⁽¹⁾。

日立製作所茂原工場においては、昭和30年ころよりメタルバック受像管の研究、製作に着手し量産化に成功したが、本報においては、蛍光膜背面にアルミニウム蒸着を完成するにあつて問題となる。作業条件、材料などの諸因子について行つた若干の考察と実験について報告する。

〔II〕 メタルバック受像管の原理

メタルバック受像管と従来の受像管の相違は第1図に示したように、蛍光面の背部および従来黒鉛の塗られていた管壁の部分が、アルミニウムの薄膜によつておおわれている点である。

陰極より放射される電子が蛍光面を刺激すると発光するが、従来の受像管では、この光は前方1に対して、後方1.7の割合で放出される。メタルバック受像管においては後方への光がアルミニウムの鏡面で反射され、前方へ折り返し発光されるので発光能率が倍加される。また蛍光膜の発光能率も加速電圧に比例して増加はするが、従来のものはある程度加速電圧が高くなると膜の帯電に



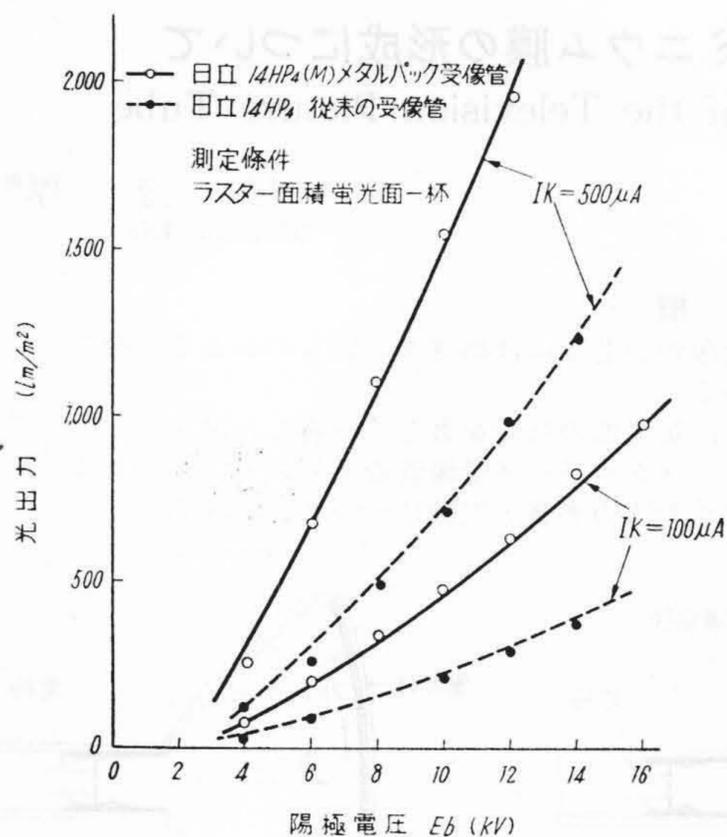
第1図 メタルバック受像管と従来の受像管の構造

より発光能率は飽和の傾向を示し、結局加速電圧を増した割合に明るくならなくなる。すなわち蛍光体はほとんど完全な絶縁体であるから、蛍光膜の電位は二次電子が放射されなければほとんど0になるが、二次電子が出ることにより加速電圧より若干低い電位に保たれる。蛍光膜の帯電現象が大きいほどその差は大きくなり、実質的加速電圧は下り能率が悪くなる。メタルバック受像管では、常にアルミニウム膜の導通により蛍光膜の電位は陽極電圧に等しく保たれるので、高電圧における動作を能率よく安定させることができる。

なお実際に同一蛍光体を使用して、メタルバック受像管と従来の受像管の明るさを比較したのが第2図である。比較的低電圧においてメタルバック受像管では、電子がアルミニウム膜を透過する際のエネルギー損失のために従来のものよりかえつて暗いことがあるが、5kV以上ではかなり高い陽極電圧に至るまで光出力は電圧に比例して増加し、一般に使用される12kV付近では約2倍の発光能率を示している。

また従来の受像管では、後方に発光された光はコーンの内壁で乱反射され一部外部に出るので映像暗部も明るくなるため、映像のコントラストを低下させていたが、メタルバック受像管では後方への光がさえぎられ、コントラストの低下を防止している⁽²⁾。実際にコントラストを測定した結果によれば、300 em/m²の明るさのとき、メタルバックしたものは従来のものと比較して、5~10倍のコ

* 日立製作所茂原工場



第2図 メタルバック受像管と従来の受像管の発光能率比較

ントラスト比を有している。ここでいうコントラスト比とは、蛍光面の半分を電子ビームで 300 em/m^2 の明るさにし、ほかの半分をまったく光らない状態とし外光を遮断して明部と暗部の明るさの比を測定したものである。

さらに、アルミニウムの膜は電子に比べ質量の大きいイオンの透過が困難なため、膜の厚さを適当に選択することにより陰極付近より電子とともに加速されてくる陰イオンビームを、著しく遅くまたは完全に阻止することができ、その結果従来の受像管では不可避とされていたイオン焼けの現象がメタルバック受像管では防止されている。

〔III〕 反射膜の蒸着

上述のように、蛍光膜背面に反射膜を付することにより非常にすぐれた特性を得ることが可能であるが、この反射膜形成の問題点について記述する。

(1) 中間膜の形成

従来の蛍光面の背部にただちにアルミニウムを蒸着するとき、アルミニウム分子は蛍光体粒子の間隙にまで食い込み光の損失が大となり、むしろ蛍光面の発光能率を低下し、アルミニウム膜蒸着の効果はない。したがって、蛍光膜の背部にまず中間膜を形成せしめ、蒸着したアルミニウムが蛍光体粒子のすべて後方に存在し、鏡面膜を形成して光の反射率を上げることが必要となる。

したがって、形成すべき中間膜の具備すべき条件は、

(a) 接触する蛍光体、ガラスおよびアルミニウムに対して付着力が大きく、しかも化学的に安定なること。

(b) 薄膜の形成が可能で、かつその強度が大であること、またその表面は光学的になめらかであること。

(c) 真空中でアルミニウムを蒸着するために蒸気圧が十分に低く、また真空中で固体であること。

(d) 電子の透過を妨げる中間膜は、アルミニウム膜完成後除去する必要がある。一般に行われる熱処理による除去が容易であり、しかも残渣を残さない物質であること。

(a) より (c) の条件を満足する物質は多くあるが、(d) の条件を満足するものは少なく、各種樹脂中で満足できるのは、ポリスチロール、ポリメタクリルメチルエステル類の二種にとどまる⁽³⁾。現在メタルバック受像管に使用されている有機物は、ニトロセルローズ、メタクリルイソブチルエステル重合体などである。

次にその方法の概略を述べる。

(i) ニトロセルローズ法⁽⁴⁾⁽⁵⁾

ニトロセルローズを適当な溶媒に可塑剤とともに溶解し、この溶解液を受像管蛍光面内に張つた水面上に滴下してニトロセルローズの膜を作り、溶媒が蒸発した後水をサイホンで吸い出すか、あるいは端から除去し、蛍光膜にニトロセルローズの膜を付着させ、乾燥する方法である。小型管による実験によれば、この方法によつても十分に満足できる中間膜を形成することができるが、操作（特に水の除去など）が微妙であること、ニトロセルローズの薄膜は微小な孔を多数生ずること、また添加する可塑剤の熱分解除去が困難なことなどで現在 (ii) の方法によつている。

(ii) メタクリルイソブチルエステル重合体法

蛍光膜を水でぬらして自由表面を作り、その表面にメタクリルイソブチルエステル重合体を可塑剤とともに溶解した溶解液を噴霧（スプレー）し、薄膜を蛍光面に付着させた後、側面のガラスに付着したフィルムを洗い流し乾燥する方法である。この方法は、作業の管理が容易であり、量産に適し、しかもメタクリルイソブチルエステル重合体の熱分解速度が早く、残渣を残さない点などですぐれている。

中間膜を製作する場合に蛍光膜の接着力、溶解液の組成、装置および乾燥方法など多くの問題があるが、詳細の検討は後日に割愛した。

(2) アルミニウム膜の蒸着

蛍光膜背面の被膜を形成する金属を選ぶ場合、その物質の具備すべき条件として次の五つがあげられる⁽⁶⁾。

(1) 電子の透過の容易なもの、すなわち原子量の小さいもの。

(2) 光学的に良い鏡面を作りうるもの。

- (3) 導電性のよいもの。
- (4) 化学的に安定であり、しかも熱処理および各種の製作工程に耐えうるもの。
- (5) 酸化物が光学的に透明なるもの。

これらの条件を満足する最も手近な金属として、アルミニウムを選ぶことができる。

アルミニウムを真空蒸着することは特にむづかしいことでなく、一般に行われている真空蒸着法となんら変わることはない。しかし、電子の透過の最適厚さを選択し、良い鏡面を作りうる条件を見出し、受像面全体について均一な膜厚さを、短時間に、簡単な操作により完成することが必要である。

以下、個々の問題については簡単な検討を加える。

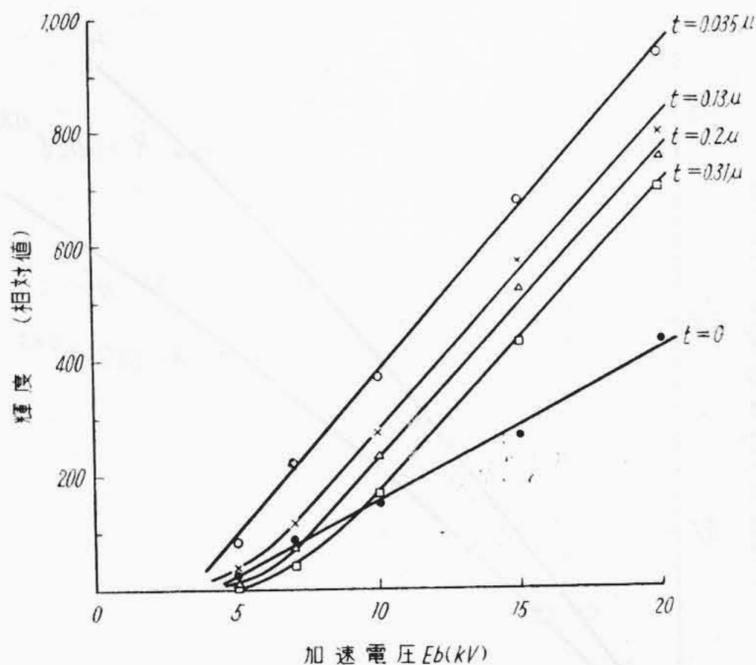
(a) アルミニウム膜の電子およびイオンの透過

蛍光面の輝度は、陰極より放射された電子の蛍光面到達時のエネルギーによつて決まる。したがつて、アルミニウム膜の厚さすなわち電子の透過率が、蛍光面の発光能率を決定することになる。また一方、電子より質量の大きいイオンの透過は蛍光膜の焼損を生ずるからこれを防がねばならない。

アルミニウム薄膜の電子やイオンの透過に関して、J.R. Young 氏などの実験がある⁽⁷⁾。これを実際の受像管について行つた実験を報告すれば次のようである。すなわち、日立 14HP4(M) 受像管を使用して、アルミニウム膜の厚さと蛍光面の輝度、および電子の加速電圧の関係について測定した結果を、第3、4図に示した。

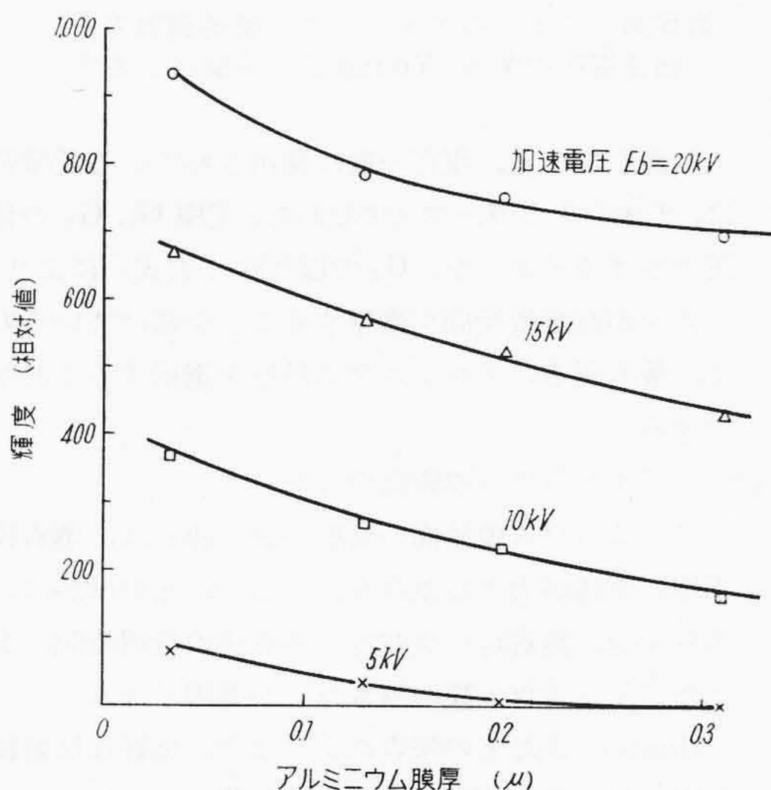
第3図より、電子がアルミニウム膜を透過する際のエネルギー損失は、アルミニウム膜の厚さによりかなり違いがあり、膜の厚いほどその損失が大きいこと、および各種膜厚における勾配がおよそ一定していることから、加速電圧が変化しても透過の際のエネルギー損失はあまり変化しないことなどがいえる。またアルミニウム膜厚が 0.2 μ 以下の場合、加速電圧 5 kV 付近ですでにアルミニウム膜のない受像管より明るくなり、15 kV 以上では、約 2 倍の明るさが得られている。すなわち、比較的低電圧では電子のエネルギー損失が大きいため暗くなるが、5~10 kV 以上では明らかにメタルバックの効果が表われている。

第4図は、アルミニウム膜厚を変化させた場合の輝度の変化を示した。さきに述べた Young 氏の実験によれば、アルミニウム膜があまり薄いと鏡面としての効果が少なくなるため、0.05 μ 以下では著しく輝度が低下するといわれているが、実際に測定した結果では、0.035 μ の厚さにおいてもその効果は大きく、アルミニウム膜が厚くなると次第に電子の



測定条件 $IK=100 \mu A$, $Ec_2=300 V$, t : アルミニウム膜厚 (μ), ラスタ面積 $216 \times 289 \text{ mm}$

第3図 加速電圧と輝度の関係

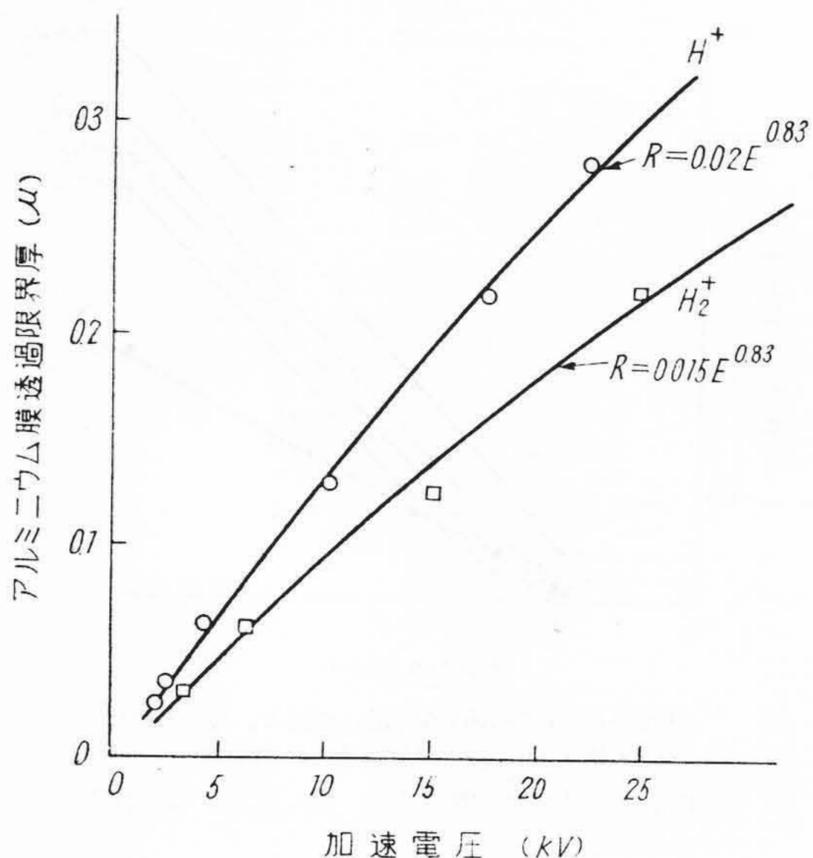


測定条件 $IK=100 \mu A$, $Ec_2=300 V$, t : アルミニウム膜厚 (μ), ラスタ面積 $216 \times 289 \text{ mm}$

第4図 アルミニウム膜厚と輝度の関係

エネルギー損失が大きくなり輝度も低下する。しかしながら、蒸着後の熱処理におけるアルミニウム膜の酸化、そのほかの問題から最適の厚さは 0.06~0.1 μ の範囲とされている。

同時に考えねばならないことはイオンの透過の問題であり、アルミニウム膜におけるイオン透過可能の限界は、Young 氏の報告により⁽⁷⁾, $R=KE^{0.83}$ の式が与えられている (注; R : 透過可能のアルミニウム膜厚 (μ), E : 加速電圧 (kV), K : 恒数, H^+ の場合 $K=0.02$, H_2^+ $K=0.015$, He^+ $K=0.021$ などである)。 H^+ , H_2^+ の場合につき、第5図にその関係を引用した。



第5図 イオンのアルミニウム膜透過限界と加速電圧の関係 (Young 氏の実験による⁽⁷⁾)

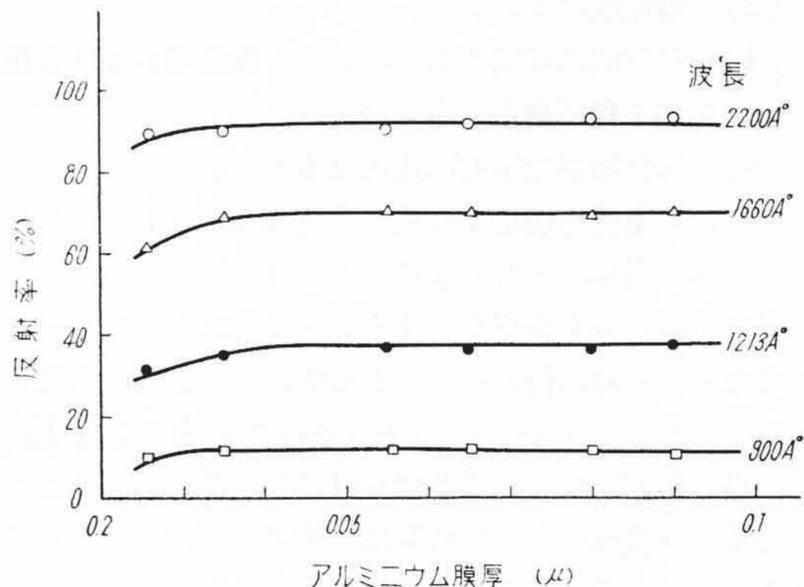
しかしながら、現在一般に使用されている受像管は、イオン・トラップ (すなわち、電極 G_1 , G_2 の付近で生ずるイオンを、 G_3 で取り除く方式) により、イオンが直接蛍光面を衝撃することを避けているので、最も明るいアルミニウム膜厚を選択することができる。

(b) アルミニウム膜鏡面の反射

アルミニウム膜鏡面の反射の良し悪しは、蒸着膜下地の問題が大きな割合を占めるが、そのほかに、蒸着速度、蒸着時の真空度、蒸着後の放置時間、およびアルミニウム膜の厚さなどが要因となる。

Hunter 氏などの報告によれば⁽⁸⁾、良好な反射膜を作る際、蒸着速度が最も重要な要素になるといわれている。すなわち、 $1,500\sim 2,000 \text{ \AA}$ の波長において、2分間で蒸着した膜は、1~2秒で蒸着した膜の約60%、また55秒で蒸着した膜の80%の反射率しか示さないと報告している。しかしながら、実際に受像管で蒸着速度を4~120秒変化させて、蛍光面の輝度、および蒸着膜の顕微鏡による観察などにより蒸着速度の影響を実験したが、まったく差はみられなかつた。

アルミニウム膜の厚さによる反射率の変化は、第6図に見られるように 0.05μ 以上になればほとんど一定の反射率を示す。 $0.04\sim 0.05 \mu$ 以



第6図 アルミニウム膜厚と反射率の関係 (Hunter 氏の実験による⁽⁸⁾)

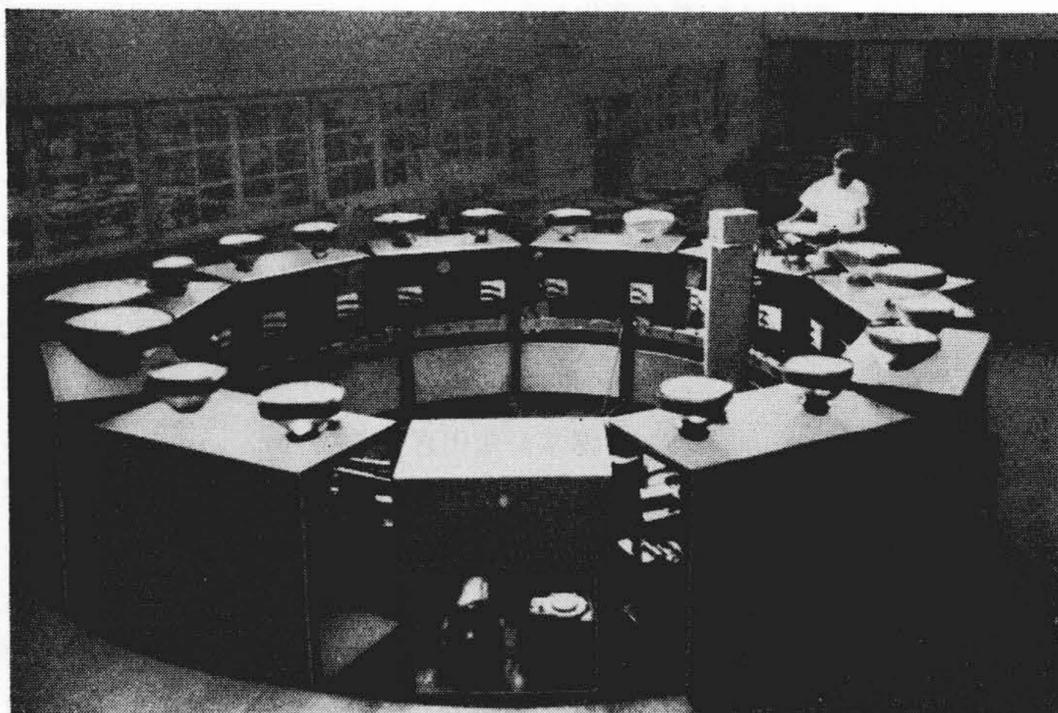
下の反射率の低下は、反射光の透過によるものである。

また反射率は、蒸着後の時間の対数に比例して減衰するといわれているが、2~3年後においてもその鏡面の反射はかなり有効とされている⁽⁸⁾。

実際の受像管製作においては、蒸着後長くとも24時間以内には管内を高真空に排気されるので、時間の経過に伴う反射率の劣化は心配ない。しかしながら、中間膜を除去する際に $400\sim 500^\circ\text{C}$ の高温で加熱されるので、アルミニウム膜の表面はかなり酸化される。幸にアルミニウムの酸化膜は透明であるから反射率を劣化させることはないが、蒸着膜は、酸化された後においても反射光を透過させない厚さしておく必要がある。

(c) 蒸着装置

第7図の写真は、現在量産に使用している蒸着装置



第7図 アルミニウム蒸着装置

置である。この装置は、ブースタポンプ、ロータリポンプ、冷却水用ポンプおよび蒸着電源関係などからなり、5~27 in の受像管を、6~9分のサイクルで蒸着することができる。また、バルブの着脱およびアルミニウム片の挿入以外は、全自動化された高能率の装置である。

この装置の特長は、自動操作に伴い装置を簡単化するために、排気系に電磁弁は1個しか使用していない。この場合、サイクルの短縮とともに問題になるのはブースタポンプ油の劣化である。すなわち、油が完全に冷却されない状態で(約1~1分半)大気圧にもどしてバルブの着脱を行うので、酸化に対して極力強いものを使用する必要がある。

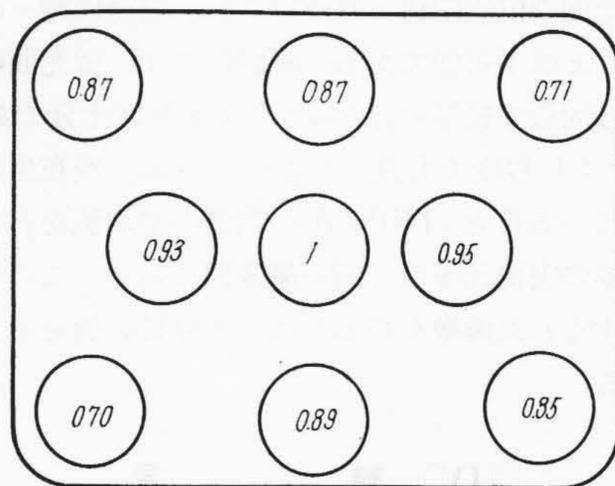
またサイクルの短縮のために、ポンプの選択および油をどこまで冷却して大気にさらすか(すなわち次のサイクルの始動を早くするため)などが問題になる。すなわち、ポンプを選択する場合、受像管のネック管のコンダクタンスが影響してくるので、ポンプをあまり大きくしても無意味であり、また始動を早くするために耐酸化性の良い油を使用するとともに、外壁を保温して油のみを冷却し、始動の際ヒータと外壁より同時に加熱する方式をとり、サイクルの短縮を行っている。

(i) 真空度の問題

蒸着中の残留ガスの性質および圧力は、蒸着膜の性質および汚染の度合に大いに関係する。真空度が悪くなればそれだけ蒸着速度は小さくなるとともに、アルミニウムが金属のまま凝結する場合がある。また酸化の問題を取り上げれば、アルミニウムの 10^{-4} mmHg における平均自由行程は約 160 cm であるから、蒸着分子が酸素分子と衝突して酸化することは、 10^{-4} mmHg 以下の真空度ではなく、もし酸化するとすれば、下地に凝結してからと考えられる。したがって、酸化を少なくするためには真空度を良くするより蒸着速度を早くし、蒸着後の放置時間を短縮する必要がある。結局真空度は、蒸発源と被蒸着物との距離より平均自由行程が十分大きければ満足され、受像管の場合、 10^{-4} mmHg の真空度で始めれば、蒸着が進行するにしたがいゲッター作用によりさらに真空度が向上するので十分である。

(ii) 蒸発源

一般に使用されているタングステン線のコイルを使用している。タングステンは、高温において蒸発しにくくまたアルミニウムと合金を作りやすい、したがって溶けたアルミニウムは、良くタングステン上に拡がって蒸発につごうがよい。しか



第8図 蛍光面におけるアルミニウム膜厚の分布(中心を1とし周辺を比率で示す)

しタングステンの酸化物は容易に蒸発するので、低真空で蒸着すると不純物が蒸発するおそれがある。また連続作業である関係上、タングステンが十分冷えないうちに空気にさらされ酸化する場合も起る。したがって、実際には十分太いタングステン線を使用して、合金中のタングステンを多量に保つようにし融点の降下を防ぐ必要がある。結論として、太いタングステン線を使用して大電流で加熱するのが一般に経済的である。それも単線ではなく燃線を使用の方がすぐれている。

(iii) 膜厚の管理

蒸着によつてできる薄膜の厚さを管理する必要がある。最も原始的な方法は、アルミニウムをあらかじめ秤りで計っておく方法である。この場合、蒸発源から飛び出す蒸気が放射状に一様であると仮定すれば、蒸発源から r cm の距離にある。蒸発源と θ の傾斜をしている面に、 $T\mu$ の厚さの膜を作るために蒸発させるに必要なアルミニウムの重量 G g は、次式で計算される。

$$G = 4 \times 2.7 \pi r^2 T \times 10^{-7} / \cos \theta \\ = 33.8 r^2 T \times 10^{-7} / \cos \theta$$

しかしながら、放射状に一様に蒸気が飛ぶという仮定は正しくない。すなわち、蒸発源の方向によりはなはだしく違いがあり、また薄膜の密度は、一般に材料の密度より小さくなっている。またアルミニウムの約 90% は蒸発するが、残りの 10% は合金を作り、蒸発源の使用回数によつても合金を作る割合が異なる。また熔解時のアルミニウムの落下などにより、希望の膜厚を得られない場合が多い。そのため、膜厚測定器を使用して、所定の均一な膜厚を得るような管理を行うことが好ましい。

蒸着膜の厚さは、蛍光面においてはなるべく一様であることが望ましいが、実際には蒸発源と蛍

光面の位置関係より限定され、完全に均一にすることは不可能である。経験的には、蛍光面の中心と周辺で膜厚の比が3:2であれば十分であり、2:1程度でも良いとされている。現在生産されている日立14RP4Aの数例の平均値をとり、膜厚の実測比率の一例を第8図に示す。この値は、すぐれた画像を得るために十分良い値を示している。

〔IV〕 結 言

以上、メタルバック受像管のアルミニウム膜成形上の問題点について述べたが、要約すると次のとおりである。

- (1) アルミニウム膜を成形する前に中間膜を利用する。この場合、材料としてメタクリルイソブチルエステル重合体を使用し、噴霧（スプレー）方式によるのが量産の場合に最も適している。
- (2) 蒸着膜の材料としてはアルミニウムを選ぶことができる。
- (3) 電子がアルミニウム膜を透過する際のエネルギー損失は膜が厚いほど大きい。加速電圧が変化しても、エネルギー損失はあまり変化しない。

- (4) アルミニウム膜の厚さは、電子のエネルギー損失が少なく、しかも反射光の透過しない0.06~0.1 μの範囲が最適である。
- (5) 蒸着装置は、自動操作のため単純化が要求されるので、その結果、耐酸化性の良い油、ポンプの選択、油の冷却度などを中心に検討を加えた。
- (6) 蒸発源としてタングステンコイルを使用し、10⁻⁴ mmHgの真空度で十分に満足できるアルミニウムの膜を完成することができる。

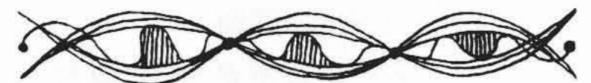
終りに、研究所の見学、文献調査に多大の便宜を与えられたNHK技術研究所山田氏をはじめ、実験に関し終始御助言下された、日立製作所茂原工場橋本部長、長岡主任、および関係者各位に厚く御礼申し上げる。

参 考 文 献

- (1) 小泉：日立評論 39, 803 (昭32-7)
- (2) 西沢：テレビジョン 10, 216 (昭31-6)
- (3) 高橋：化学誌 73, 199 (昭27-6)
- (4) Bayford: P.I.E.E. 99, Part III A (1952)
- (5) 別所, 森, 小泉, 小池: NHK技術研究 11, 4 (昭30-3)
- (6) Epstein Pensak: R.C.A. Rev. 7, (Mar. 1946)
- (7) Young: J. Applied Phys. 27, 1 (Jan. 1956)
- (8) Hunter, Tousey: J.O.S.A. 46, 1009 (Dec. 1956)



特 許 と 新 案



最近登録された日立製作所の特許および実用新案

(その5)

(第52頁より続く)

| 区 別 | 登録番号 | 名 称 | 工 場 別 | 氏 名 | 登録年月日 |
|------|--------|--|-------|----------|------------|
| 実用新案 | 467124 | 排砂装置付チェックバルブ | 亀有工場 | 館野 下村 忠夫 | 32. 10. 25 |
| " | 467123 | 排砂装置付チェックバルブ | 亀有工場 | 田館 中下 栄吉 | " |
| " | 467128 | 起重機の旋回装置 | 亀有工場 | 真砂 幸男 | " |
| " | 467131 | 壁 ク レ ー ン | 亀有工場 | 村田 孫義 | " |
| " | 467033 | 分離能率の低下せしめずして流量を変化せしめ得るサイクロン槽を用いた粉粒体分離装置 | 川崎工場 | 徳 泉 親 信 | " |
| " | 467127 | 油圧による切削送り時の振動防止装置 | 川崎工場 | 松本 源次郎 | " |
| " | 467130 | 軸流タービン、軸流圧縮機などの翼取付角調整装置 | 川崎工場 | 大 谷 光 巖 | " |
| " | 467133 | フライス盤ニイ一部昇降装置 | 川崎工場 | 松本 源次郎 | " |
| " | 467134 | オーバーアーム防振装置 | 川崎工場 | 松本 源次郎 | " |
| " | 467039 | 供試体を凍結融解する試験装置 | 栃木工場 | 南 部 誠 一 | " |
| " | 467035 | 環状天秤式流量計 | 多賀工場 | 小野寺 進 | " |
| " | 467036 | 流量積算装置 | 多賀工場 | 佐藤 芳男 | " |
| " | 467037 | 流量積算装置 | 多賀工場 | 佐藤 芳男 | " |
| " | 467045 | 電動ホイストの運転装置 | 多賀工場 | 横 内 直 中 | " |