# 均一蒸着膜と干渉フィルタへの応用

Uniform Thickness Evaporated Film and Its Application for Interference Filters

Toshikatsu Iwasaki

真空蒸発法によって試料全面にわたって高精度で均一な膜厚に蒸着する方法について実験し、干渉フィルタ に応用した。

従来均一蒸着法としては一般に蒸発源と蒸着面の距離をできる限り離す方法が用いられていたが、本報告で は蒸発源を点、線、平行二重線、円形などに配置した場合の膜厚偏差および利用率について実験し、最良の方 法を求めて干渉フィルタの製法に応用した。また大形のものの均一蒸着法について実験し、試料回転法によっ て直径 200 mm の均一な大形干渉フィルタを試作した。さらに実用上一回の蒸着操作で均一な干渉フィルタが 多数作れる量産装置を作り, 各フィルタ特性の均一性をしらべた。

# 1. 緒

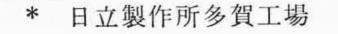
真空蒸発法の発達によって, 金属や非金属の膜を蒸着させてこれ を利用する研究が盛んとなり、各方面に応用されるようになってき た。この真空蒸発法によって蒸着された膜厚は, 真空度, 蒸発源の 形状、配置法、蒸発物質、蒸発量および蒸発源からの距離などによ って変化するので、試料全面にわたり一様な膜厚につけることは困 難である。実用上膜厚を均一につけることは重要な問題で、たとえ ば干渉フィルタを真空蒸発法によって作る場合、わずかでも膜厚が 不均一になれば中心波長のずれを生じ色むらが現われるので、膜厚 を高精度で均一に蒸着する必要が生じてくる(1)。

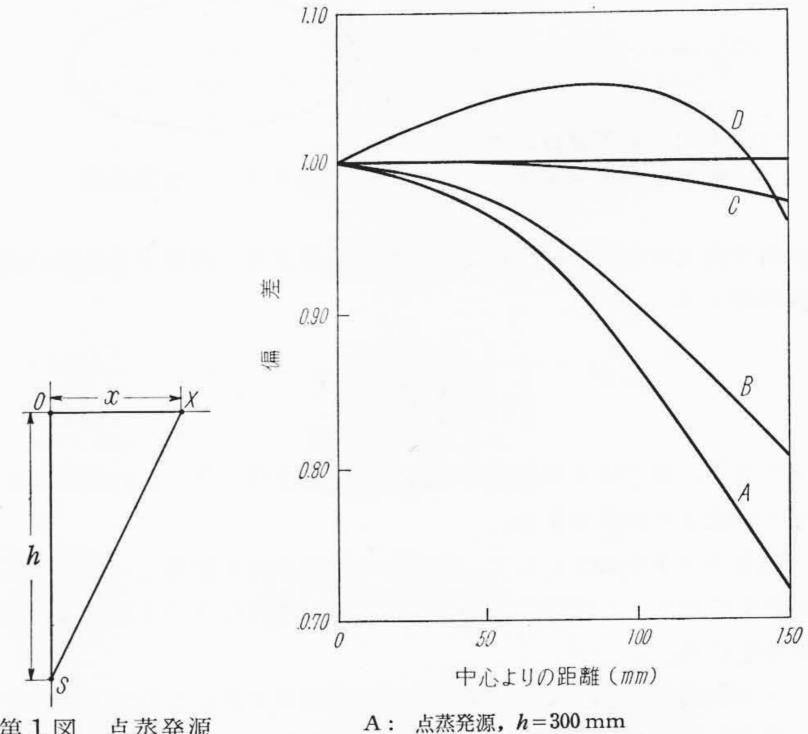
従来均一な蒸着膜を得るのに,一般に蒸発源と蒸着面との距離を できるだけ離す方法が用いられていた。この方法は蒸発物質の利用 率が非常に悪く,貴金属を用いる場合は原価を高め,また一方大形真 空容器を必要とし排気時間も長くかかるので経費がかさむなどの欠 点がある。この欠点を除き、限られた真空容器内でできる限り大き な面積に均一に蒸着させるため、最初に蒸発源の配置法について実 験し、点、線、平行二重線および円形の各蒸発源の配置法について 膜厚偏差および利用率を比較し、最良の方法を求めて干渉フィルタ の製法に応用した。また大形のものについて均一蒸着法を実験し, 試料回転法によって直径 200 mm 程度の均一で大形の干渉フィルタ を試作した。さらに実用上は一回の蒸着操作で均一なフィルタを多 数同時に作る必要があるので, この均一蒸着法の量産方式について 実験し、量産装置を作り、各フィルタ特性の均一性をしらべた。

#### 2. 蒸発源の配置法による均一蒸着法

均一蒸着法は基本法則の類似から, 照度分布や静電界の電場分布 などと関連類似があり、この方面の研究からも推察できる。 J. Strong氏は天体反射望遠鏡に Al の反射面を蒸着させるのに、膜の均一 性と蒸発源の配置法について考察し、円形蒸発源を用いてかなり均 一な蒸着膜を得た(2)。これが本研究の端緒である。

点蒸発源から蒸発する分子は真空中では各方向にわたって一様に 飛散するから, 試料面に蒸着する物質量すなわち膜厚は距離の二乗 に逆比例し,蒸発源に対して張る立体角に比例することが見出され ている。蒸発源が点でない場合も各要素が同じ法則に従うものとみ なしてさしつかえない。蒸発源としては点、線状のものを用い、こ れらを適当に組み合わせて平行二重線, 円, 正方形のものについて 実験した。





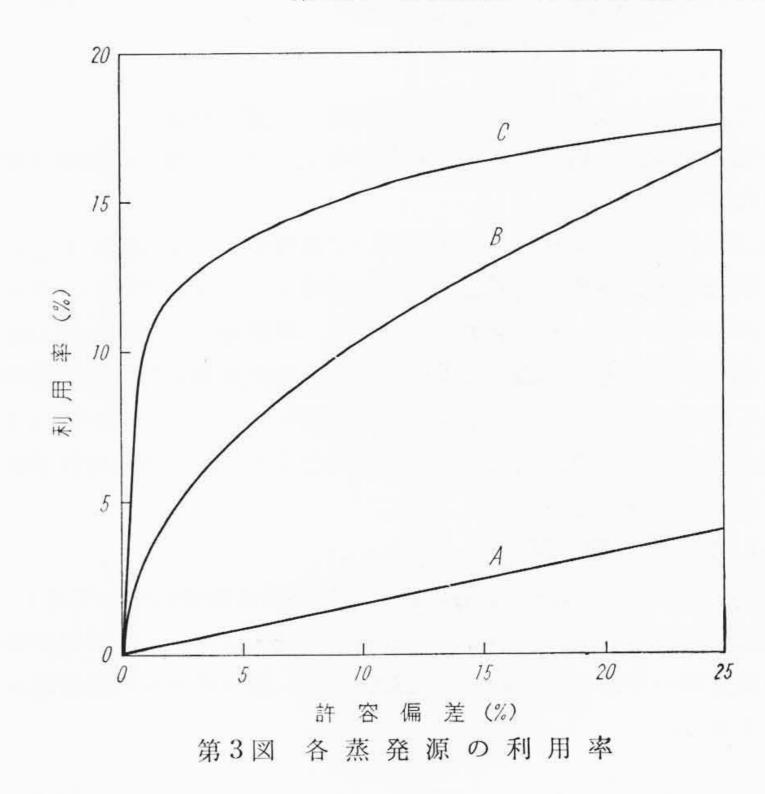
第1図 点蒸発源

B: 無限長線蒸発源, h=300 mm

C: 無限長平行二重線蒸発源, h=300 mm

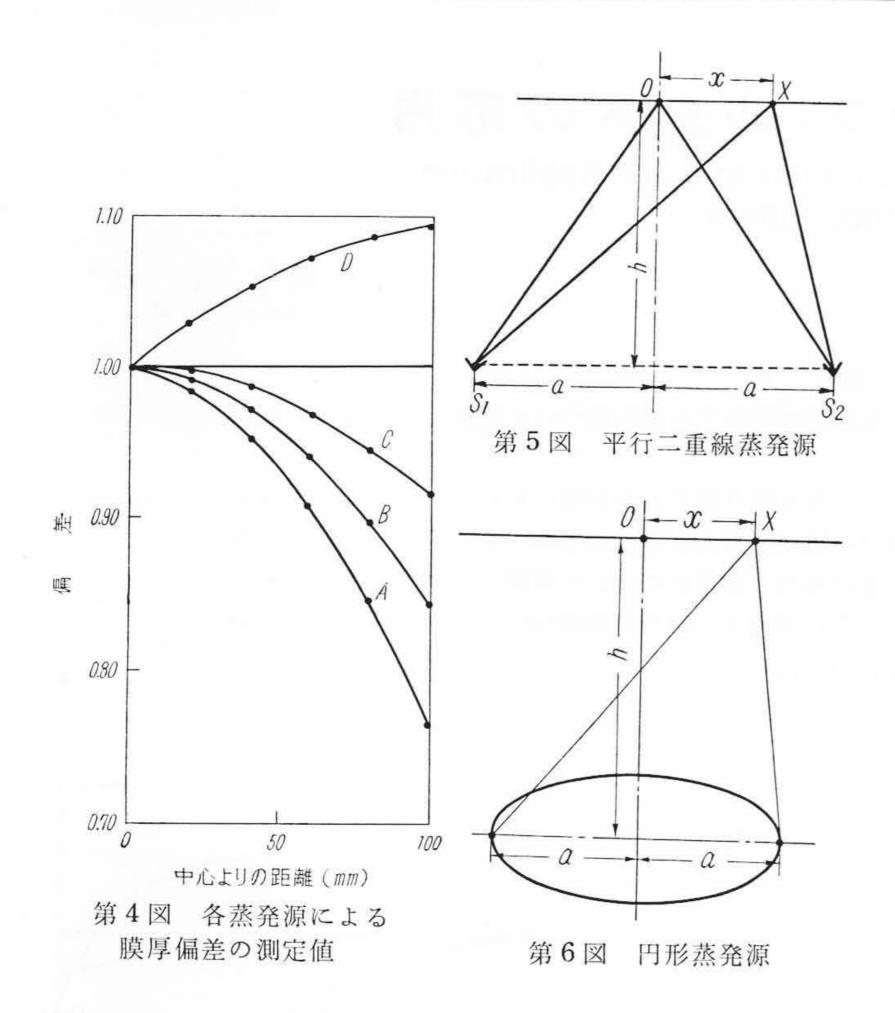
D: 円形蒸発源, h=150 mm

各蒸発源による膜厚偏差の計算値



2.1 点 蒸 発 源

第1図に示すように点蒸発源Sよりの蒸発量を $\mu$ とし、高さhの



試料平面上の中心点Oよりxの距離にある点Xに蒸着する金属の面積密度 $\sigma$ は、

となる $^{(3)}$ 。厚さは $\sigma$ に比例するから、中心点OとX点との膜厚の比をこの式より計算できる。

高さ  $h=300~\mathrm{mm}$  として、中心との膜厚の比を計算した結果を第  $2 \, \boxtimes A$  に示す。この場合中心より  $30~\mathrm{mm}$  離れた点で1%の膜厚偏差を生じる。

一方利用率は中心よりxまでの面積が利用できるとして、この中に蒸着した量と全蒸発量との比で表わすことにし、これを $\eta$ とすると、

$$\eta = \frac{1}{2} \left\{ 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{x}{h}\right)^2}} \right\} \dots (2)$$

となり、距離が大になるほど利用率は著しく悪くなる。

一定の膜厚許容偏差に対する利用率を上式より計算した結果を**第**3図Aに示す。

以上の計算結果より点蒸発源を用いて膜厚を均一に蒸着するには、利用率・真空蒸発装置などの点から考えて実用的でない。アルミナのるつぼを用いて銀を蒸着したとき、蒸発源より 300 mm の距離にある試料面上の中心点とX点との膜厚偏差を測定した結果を第4図Aに示す。完全な点蒸発源は実用上得がたく、るつぼを使用する場合はある程度の面積をもつ上に方向性も入ってくるので計算結果より偏差は多くなった。

#### 2.2 線 蒸 発 源

線蒸発源の場合は、まず計算の都合上無限長の場合について考え、有限長の場合には端部の影響による補正を行えばよい。無限長の場合は横方向の分布のみを考えればよいから、単位長当りの蒸発量を $\mu$ とすると、

$$\eta = \frac{\tan^{-1}\left(\frac{x}{h}\right)}{\pi} \dots (4)$$

となる。前回同様  $h=300~\mathrm{mm}$  とし、中心との膜厚偏差および一定 許容偏差に対する利用率を計算した結果をそれぞれ 第2 図B、第3 図Bに示す。この結果から点蒸発源よりは線蒸発源のほうが偏差利用率ともにすぐれており、同じ偏差に対しては数倍の利用率が得られる。実際の場合は線の長さが有限であるから端効果の影響で偏差はこれよりも多くなる。線の全長が垂直距離の20倍以上ならば補正の必要もないが、真空容器の関係よりそんなに長くすることはできない。線蒸発源として長さ  $15~\mathrm{cm}$  の V 溝形の M の ボートを使用して実験したが、充てんする蒸発物質の量を全長にわたって一様とせず、中央部を少なくし、端部を多くして端効果を補正し、全面に一様に蒸着するようにした。銀を用いて実験した結果、膜厚偏差は第4図Bに示すようになった。無限長線蒸発源として計算した結果より偏差は幾分多くなった。これは端効果の補正が十分でなかった点と、蒸発源が線でなく幅をもっておりまた場所により蒸発量が相違したためと思われる。

# 2.3 平行二重線蒸発源

平行二重線蒸発源の場合も前回同様無限長の場合について計算すると、第5図に示すように二蒸発源間の距離を2a,高さをhとすると、

$$\sigma = \frac{\mu}{2\pi h} \left\{ \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{h} - \frac{a}{h}\right)^2} + \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{h} + \frac{a}{h}\right)^2} \right\} \dots (5)$$

$$\eta = \frac{\tan^{-1}\left(\frac{2a}{h}\right)}{2\pi} \dots \tag{6}$$

ただし  $\eta$  は -a < x < a の範囲内の利用率である。  $\sigma$  は  $0 < a/h \le 1/\sqrt{3}$  ならば中心点 O に極大値をもつ単峯形となり, $a/h > 1/\sqrt{3}$  ならば O に極小値をもつ双峯形となるが, $a/h = 1/\sqrt{3}$  すなわち  $\angle S_1OS_2 = 60$  度のときに最も平らな分布曲線となることが知られている。それゆえ  $a = h/\sqrt{3}$  の配置をとり,b = 300 mm として膜厚偏差を計算した結果は第2図Cに示すとおりである。点および線蒸発源に比べて偏差が著しく少なくなり,半径約100 mm まで1%以内の偏差で蒸着できることがわかる。また利用率は第3図Cに示すとおりで,前者に比べて向上している。上述の配置法で単線の場合と同様に銀を用いて端効果を補正し蒸着したところ,第4図Cに示すような偏差の測定結果が得られた。この場合は前回のほかに二つの蒸発源を使用するので,両蒸発源の蒸発量が完全に等しくならないために誤差が入ってくる。この場合の実験結果では,偏差1%以内では直径 b < b < a に対しては b < b < a に b < b < a に b < b < a に b < b < a に b < a に b < a に b < a に b < a に b < a に b < a に b < a に b < a に b < a に b < a に b < a に b < a に b < a に b < a に b < a に b < a に b < a に b < a に b < a に b < a に b < a に b < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に a < a に

# 2.4 円形蒸発源

閉曲線の一例として円形蒸発源の場合には、第6図に示すように、 半径をaとすると、

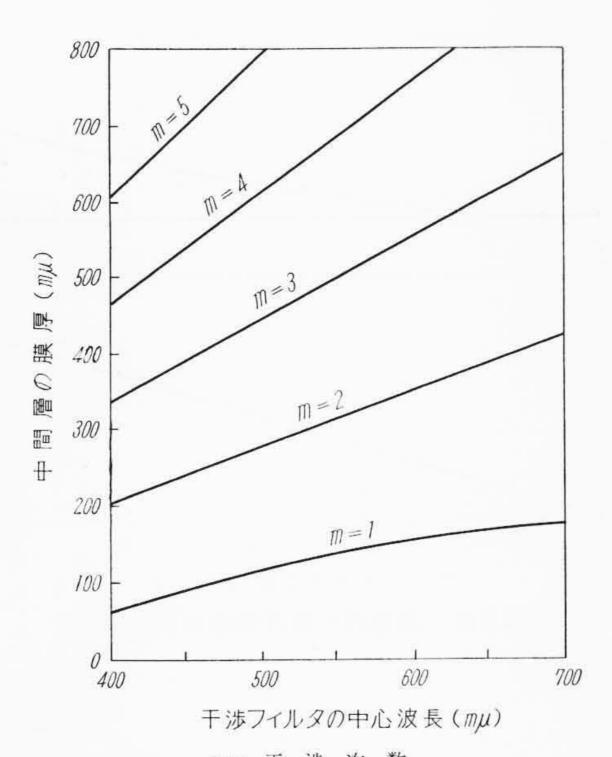
$$\sigma = \frac{\mu}{2\pi h} \cdot \frac{2 a h^2}{\sqrt{(a+x)^2 + h^2} \left\{ (a-x)^2 + h^2 \right\}} E\left(\frac{\pi}{2}, K\right)$$
(7)

ただし E は楕円関数

この場合 a/h=1 すなわち円の半径と垂直距離が等しい場合は分布曲線が平らになるので、a=h=150mmとして計算した結果を第2図 Dに示す。実際にタングステン・ヘリカルコイルを用いて A1を蒸着した場合の膜厚偏差の測定結果は第4図 Dに示すようになる。各エレメント蒸発源の蒸発量が等しくならないために偏差も多くなる。

試料が正方形の場合には、蒸発源を正方形に配置して蒸着すれば よい。この場合は円形よりは多少偏差が多くなる。

以上の結果より, 蒸発源としては, 点より線へ, 単線より平行二



m: 干 渉 次 数 第7図 干渉フィルタ中間層の膜厚と中心波長の関係

第1表 干渉フィルタの膜厚偏差と中心波長の移動量

| 干渉フィルタの中心波長: $\lambda_{\max}(m\mu)$ 膜厚偏差 $1\%$ の時の $\lambda_{\max}$ の移動量 $(m\mu)$ $\lambda_{\max}$ の移動量を $1m\mu$ とした時の膜厚許容偏差( $\%$ ) | 400<br>1.0<br>1.0 | 500<br>3.0<br>0.33 | 550<br>4.3<br>0.23 | 5.2<br>0.19 | 700<br>5.7<br>0.18 |
|--|-------------------|--------------------|--------------------|-------------|--------------------|
| (B) m≥1, λ <sub>max</sub> =550 mμの場合   |                   |                    |                    |             |                    |
| 干 渉 次 数: m   |                   | 1                  | 2                  | 3           | 4                  |
| 膜厚偏差1%の時の λmax の移動量 (mμ)   |                   | 4.3                | 4.5                | 5.0         | 4.8                |

重線へと配置することにより同一真空容器内で大きな面積にわたって偏差の少ない蒸着膜が得られる。また円形蒸発源は蒸着面の大きい場合には効果的である。これらのうち平行二重線蒸発源はその配置も簡単で、しかも偏差の少ない方法であるから限られた真空容器内で最大限の均一蒸着面をうることができる。

#### 3. 干渉フィルタの均一蒸着法

干渉フィルタを製作する場合に必要な膜厚の許容偏差を計算によって求めた。そして上述の線蒸発源を用いて干渉フィルタを作った場合の膜厚偏差,色むら、中心波長ずれなどを測定した。

#### 3.1 膜厚偏差と干渉フィルタ中心波長の移動量

干渉フィルタの中間層の膜厚によって中心波長位置がきまり、この膜厚がわずかに変化しても中心波長は数 $m\mu$ ずれるので、膜厚に偏差があれば全面積一様なフィルタとはならず色むらを生じることになる $^{(1)}$ 。この中間層の膜厚と中心波長の関係を計算した結果を第7図に示す。mは干渉次数で一次より五次干渉のものまで計算し

た。これより膜厚に 1%の偏差があったときの中心波長のずれを計算した結果が**第**1表である。同じ膜厚偏差でも長波長用のフィルタほど波長ずれが多くなってくるので,膜厚の許容偏差も厳格におさえなければならない。中心波長の移動量を  $1 \,\mathrm{m}\,\mu$  以内にするには**第**1表に示すように  $700 \,\mathrm{m}\,\mu$  のフィルタで膜厚許容偏差を 0.18% 以内にする必要がある。これは非常に厳格な偏差になってくる。実用上主波長のずれを  $2 \,\mathrm{m}\,\mu$  までとみても許容偏差が 0.36% となる。

高次干渉フィルタの場合も膜厚許容偏差は第1表に示すように一次干渉の場合とほぼ同じである。前述のように蒸発源の配置法をくふうして、単線または平行二重線蒸発源を用いても、直径 30 mmのものが限度と考えられる。ゆえに大形の干渉フィルタあるいは同時に多数のフィルタが製作できる量産装置を作るには特殊の方式を採用しなければならない。

#### 3.2 線蒸発源を用いた干渉フィルタの均一蒸着法

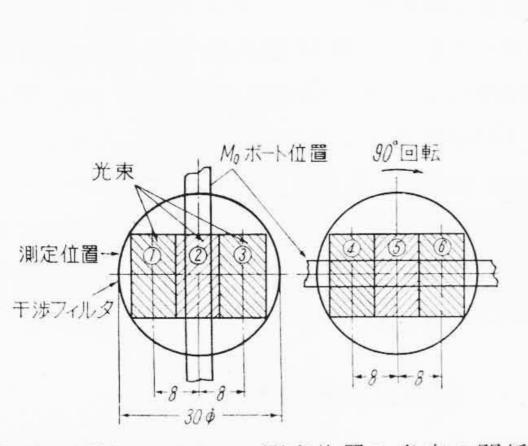
線蒸発源を用いて直径 30 mm の干渉フィルタを作りその特性の偏差を測定した。蒸発源としては Ag, Mg  $F_2$  とも長さ 150 mm の Mo ボートを用い,フィルタ生地までの距離を 300 mm にとった。分光光電光度計で第8図に示すような各位置で分光透過率を測定し,第9図に示すような結果を得た。測定光束の大きさは8×16mm で①~③の3箇所で測定し、さらにフィルタを90度回転させ④~⑥の3箇所で測定した。この6箇所の各位置で測定した分光透過率は非常によく一致し,ほとんど区別することが困難なほどであり,中心波長も $\pm 1$  m $\mu$  以内に収っており,色むらも認められないので均一な満足すべきフィルタということができる。平行二重線蒸発源を用いても同様な結果が得られた。この方法で直径 50 mm の同波長のフィルタを作ったときは中心波長が $\pm 3$  m $\mu$  程度ずれを生じた。

#### 4. 大形均一蒸着法

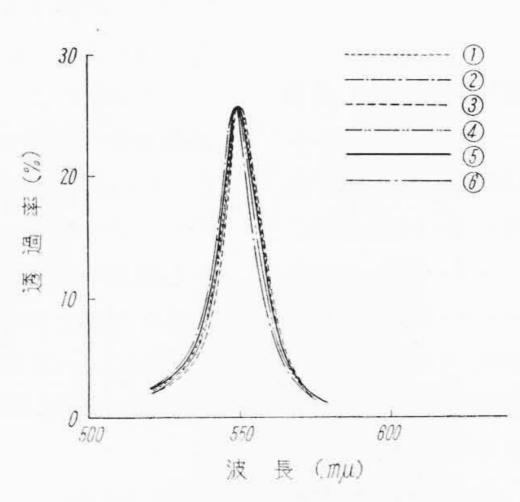
干渉フィルタは上述のように高度の膜厚均一性を必要とするので、蒸発源の配置法を種々くふうしても、中心波長のずれを ±1 mp 以内におさえれば、高々直径 30 mm 程度のフィルタしかできない。これより大形の干渉フィルタを作る場合、大形の真空蒸発装置を用いることは前述のように得策ではないので、蒸着面を回転させてつける方法につき実験した。

# 4.1 原 理

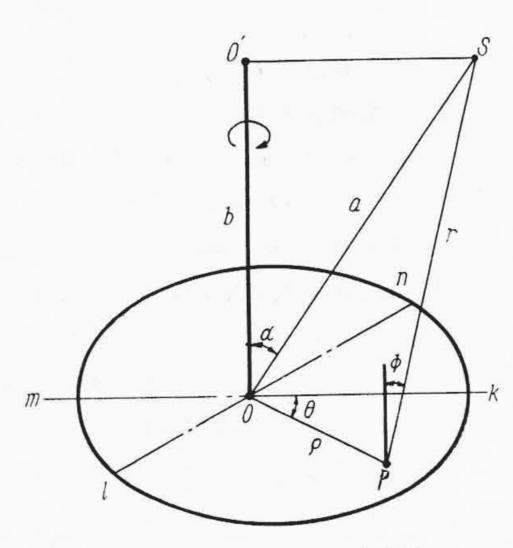
この方法は R. A. Fisher, J. R. Platt 氏の行った方法(4) と同原理で、第10 図において蒸着面を k,l,m,n とし、法線 OO' を軸として一様に回転させる。点蒸発源をSの位置におき、SO'//KO, OS=a OO'=b SP=r とし、図示するように  $\angle \alpha$ ,  $\angle \theta$ ,  $\angle \phi$  をきめ蒸着面上の一点 P の面積密度を計算した。蒸着面が OO' 軸の周りを一定角速度  $\omega$  で N 回転する間に蒸着される物質の面積密度を D  $(y,\alpha)$ で表わすと、



第8図 干渉フィルタの測定位置と光束の関係

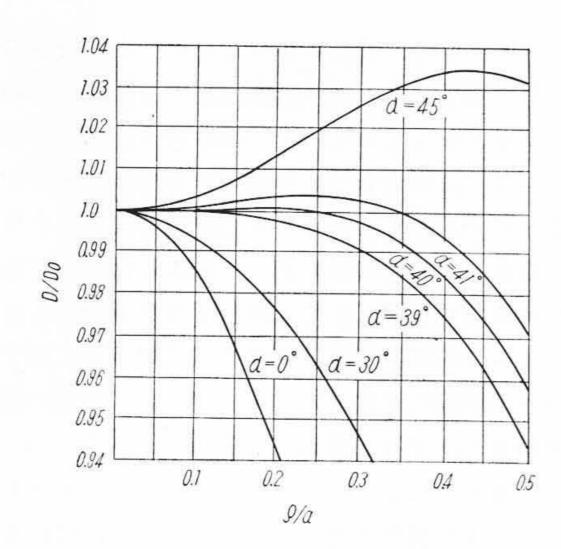


①~⑥は第8図の測定位置を示す。 第9図 干渉フィルタの色むらの測定結果

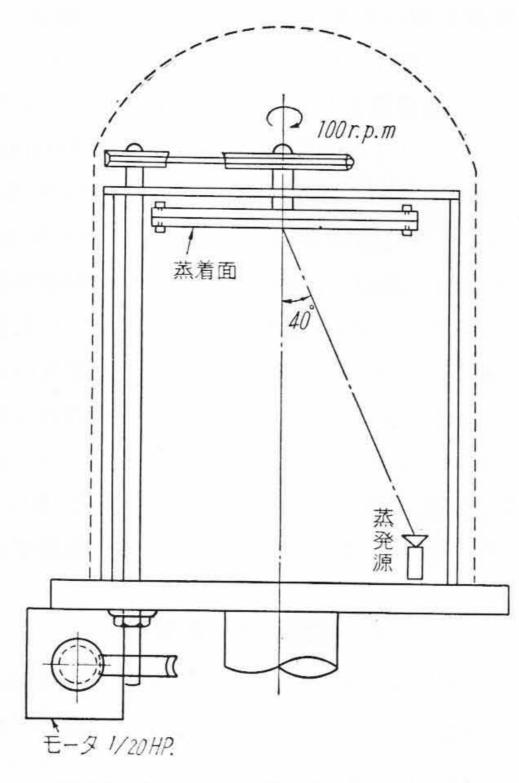


第10図 大形均一蒸着法

日



第11図 膜厚偏差の計算値



第12図 回転式蒸着装置

$$D(y, \alpha) = \int_{0}^{2\pi N/w} \omega \, dt = G \int_{0}^{2\pi} \frac{d\theta}{(1 + y^2 - 2y \sin \alpha \cos \theta)^{\frac{3}{2}}}$$

この積分は第二種楕円積分 E(k)で表わしうる。すなわち、

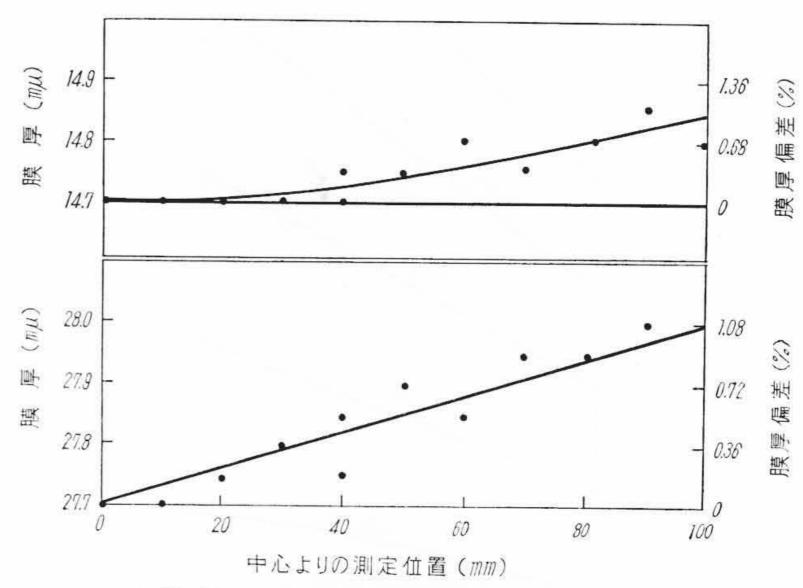
$$E(k) = \int_0^{\pi/2} (1 - k^2 \sin x)^{\frac{1}{2}} dx \dots (9)$$

であるから,

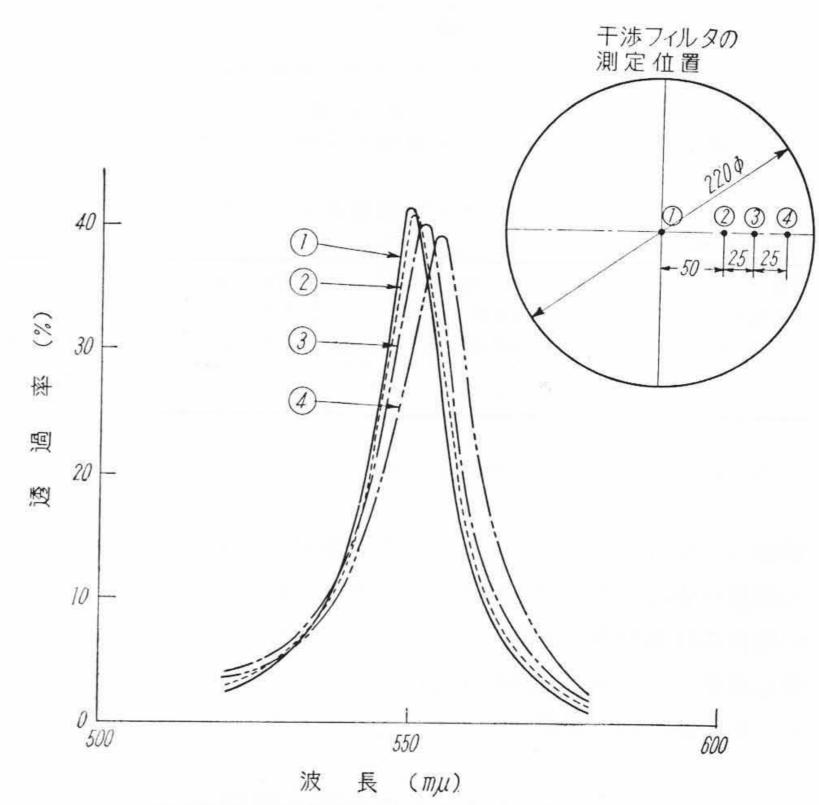
$$D(y, \alpha) = \frac{GE\left\{2\left(\frac{y \sin \alpha}{1 + y^2 + 2y \sin \alpha}\right)^{\frac{1}{2}}\right\}}{(1 + y^2 + 2y \sin \alpha)^{\frac{1}{2}}(1 + y^2 - 2y \sin \alpha)}$$
.....(10)

をうる。ただしGは常数である。

楕円積分の数値表を用いてこの  $D(y \cdot \alpha)$  を計算し、蒸発源と蒸着面の中心法線とのなす角  $\alpha$  をパラメータにとって、中心と中心から  $\rho/a$  だけ離れた点との膜厚の比  $D/D_0$  を計算した結果が第 11 図である。この結果より  $\alpha=0^\circ$  の場合は点蒸発源の場合と同一であるが、  $\alpha=40\sim41^\circ$  のとき偏差が最も少なくなっている。  $\rho/a=0.25$  までほとんど偏差がないことになる。また偏差 1%なら  $\rho/a=0.4$  まで利用できることになる。これはたとえば  $OO'=200~\mathrm{mm}$ ,  $\alpha=40^\circ$  とすると、偏差 1%以内の  $\rho$  の値は100 mm となり、直径 200 mm の全面積にわたって均一な蒸着膜が得られることになる。点蒸発源の場合と比較すると、 $\alpha=0^\circ$  のときは  $\rho=15~\mathrm{mm}$ であるから、均一蒸着面積を著しく拡大することができ、大形の干渉フィルタも製作可能になる。



第13図 銀薄膜の膜厚偏差の測定結果



第14図 銀薄膜干渉フィルタの測定結果

### 4.2 実験装置とその結果

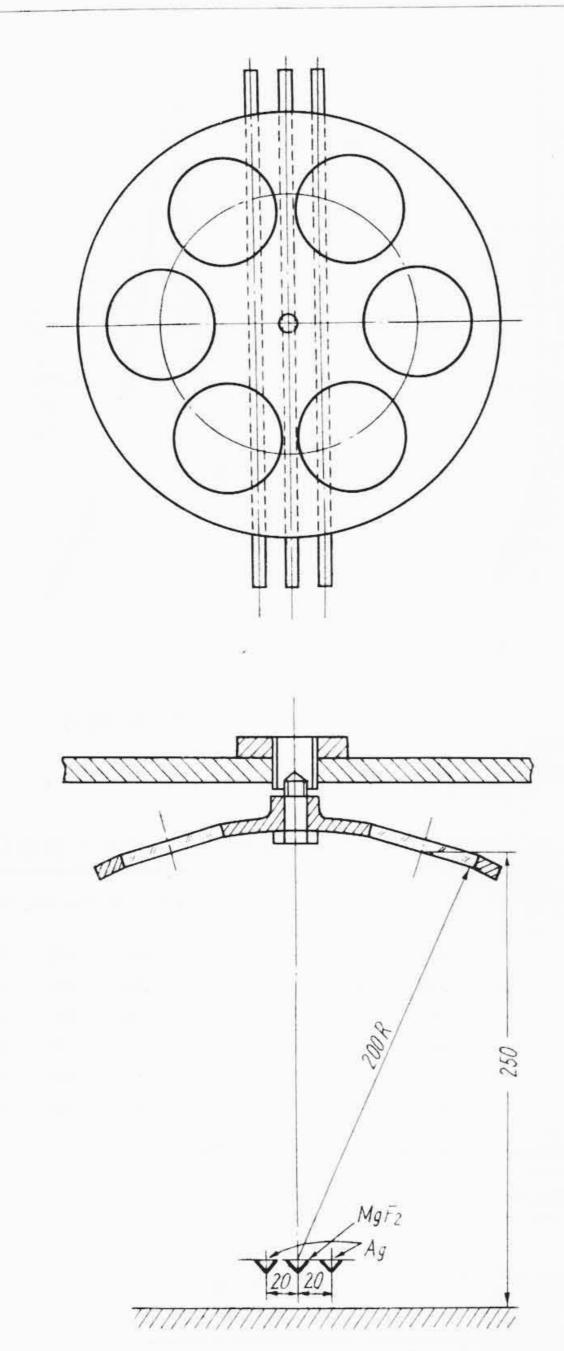
第12図に示すように直径 400 mm のベルジャを用い, 試料蒸着面は中心軸の周りを外部より回転できるようにし, 蒸発源は中心より 40度の方向に置き, アルミナのるつぼを用いて銀を蒸着した。回転速度は種々実験した結果 100 rpm 程度がよかった。試料としては直径 220 mm のガラス板を用い, 最初に銀を蒸着してみた。蒸発源としてアルミナるつぼを用いると円錐形のため方向性をもち, 結果がよくなかったので, Mo ボートを使用して実験した。

銀の透過率を測定して膜厚偏差を求めた結果を**第13**図に示す。 この二つの例より中心点と100 mm離れた点との膜厚偏差はほぼ1 %以内に入っている。

この方法によって直径 220 mm の干渉フィルタを作り、その分光 透過率を 4 箇所で測定した結果、 第 14 図 に示すような結果を得た。中心波長のずれは中心より 50 mm 離れた点で約  $1 \, \mathrm{m}\mu$ 、75 mm のところで約  $3 \, \mathrm{m}\mu$ 、 $100 \, \mathrm{mm}$  のところで  $5 \, \mathrm{m}\mu$  以内に入っている。中心波長のずれが  $5 \, \mathrm{m}\mu$  では色むらも生じるが、 $3 \, \mathrm{m}\mu$  以内なら大して目立たないので実用上は差しつかえない。このような回転式均一 蒸着法によって直径約 200 mm の大形干渉フィルタも中心波長ずれを  $5 \, \mathrm{m}\mu$  以内に収めることができた。

# 5. 量産式均一蒸着法

実用上要求される干渉フィルタの大きさは, 通常直径 30 mm 程度



第15図 球 面 配 置 法

で十分であるから、1回の蒸着操作で均一なフィルタを多数同時にできる量産装置を試作し、各フィルタ特性の均一性をしらべた。

#### 5.1 球面配置法

蒸発源を中心とする球面上にフィルタ生地を配置し蒸着する方法を行った。第15回は6枚配置したもので、蒸発源からの距離が等しいから一様な同じ特性のフィルタができるはずである。しかし実

際には線蒸発源を用いたので膜厚の不均一を生じた。 第16 図 Aはこの方法で同時に蒸着した 6 枚のフィルタについて分光透過率を測定した結果である。中心波長のばらつきは最大  $26~m\mu$  も生じた。また各フィルタごとの色むらも相当顕著に現われたので,第8 図に示した各位置で同様な方法で色むらを測定した。 第17 図 Aはその結果で,両端部で中心波長  $32~m\mu$  のずれを生じた。結局この方法では 6 枚のフィルタの特性がばらつき,また各フィルタも場所によって特性の相違を生じ,色むらが著しいので実用にはならない。蒸発源が理想的な点蒸発源ならば,この方法でも均一蒸着膜が得られるものと思われる。

#### 5.2 回 転 法

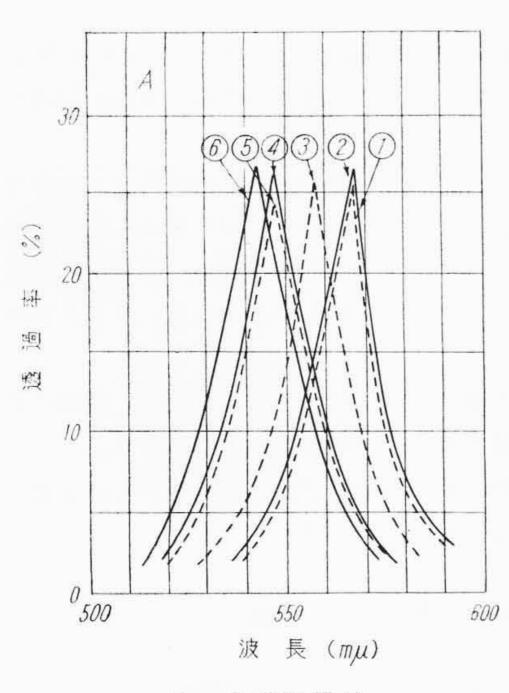
膜厚の不均一は回転することによってある程度除くことができるので、前回と同じ配置法でその中心軸の周りに回転しながら蒸着してみた。回転装置は第12図と同様に外部よりモートルで駆動し、試料を100 rpm で回転した。

第16図 B はこの方法で作った 6 枚のフィルタの分光透過率を測定し、その特性のばらつきを調べたものである。回転方式の採用によってばらつきが著しく減少した。しかし色むらが残っているので前回同様一枚のフィルタの 3 箇所で分光透過率を測定した結果、第17 図 B に示すように中心波長に  $\pm 4 \,\mathrm{m}\mu$  のずれを生じた。前回の結果と比較して、ばらつき、色むらともに著しく減少したが実用にはなお不十分である。

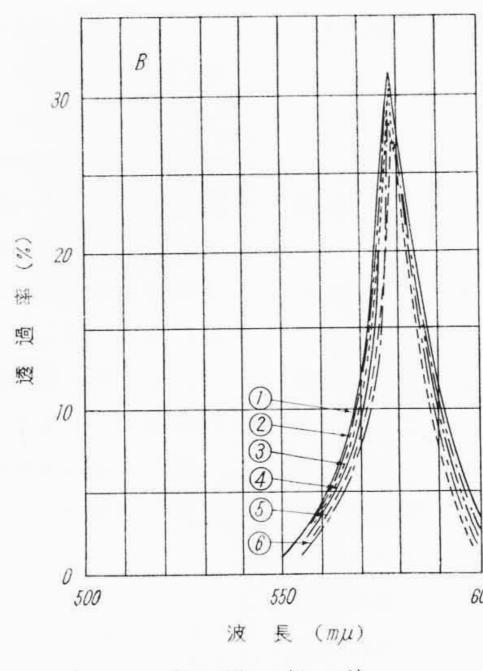
#### 5.3 公転・自転回転法

前2回の実験結果にもとづいて蒸着装置をさらに改良し、やといの回転だけでなくフィルタ生地をも同時に回転できるようにし、公転と自転が同時に行える第18図に示すような蒸着装置を作った。中心軸を40rpmで回転させ、これに歯車をとりつけ各フィルタ生地取付わく上部の歯車とかみ合わせて生地が120rpmになるようにした。このような公転自転回転装置を用いて同時に作った6枚のフィルタの分光透過率を測定した結果は第16図 Cに示すように特性が非常によく一致し、ばらつきが認められなかった。また色むらを測定した結果が第17図 Cで、6箇所の分光透過率の測定値がよく一致し、中心波長のずれは認められなかった。またこのような方法で作った各波長のフィルタについて、ばらつきおよび色むらを測定した結果をそれぞれ第2、3表に示す。いずれも特性が非常によく一致し、実用上なんら支障がない程度のものが得られた。

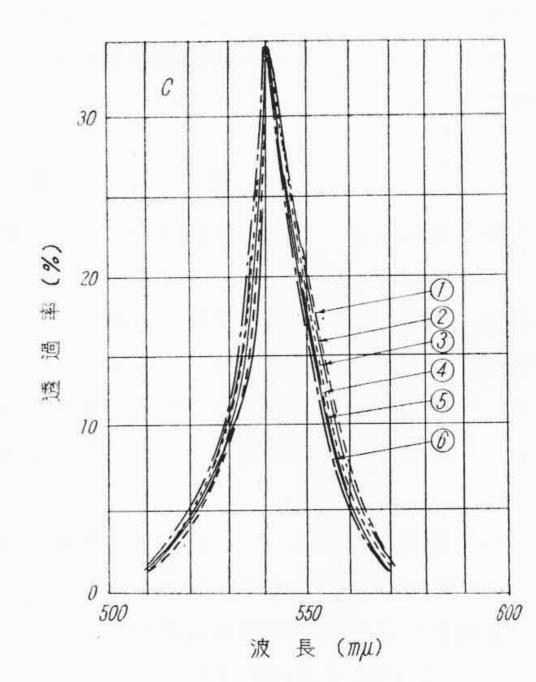
このような公転自転回転装置を使用することによって, 同時に均



A: 球面配置法

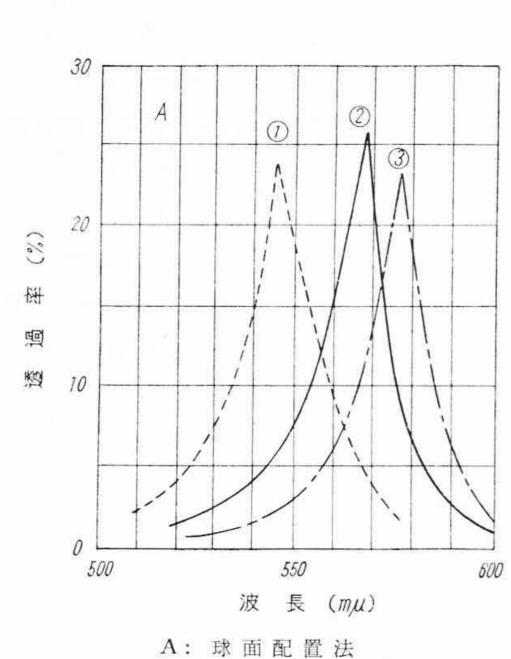


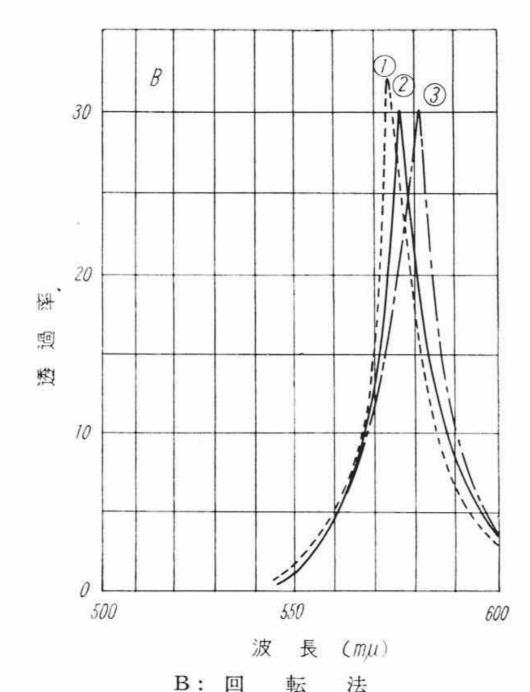
B:回 転 法 6枚同時に蒸着したもの

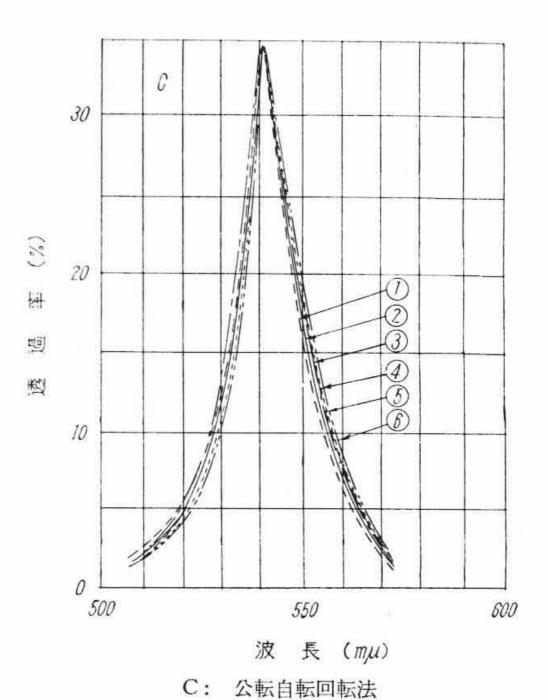


C: 公転自転回転法

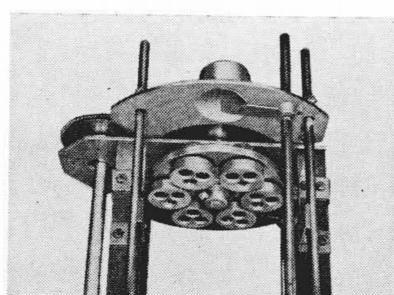
第16図 干渉フィルタ特性のばらつきの測定結果







数字は第8図の測定位置を示す 第17図 干渉フィルタの色むらの測定結果



A: 正 面 全 貌 B: 生地取付部 第18図 公転自転回転法の蒸着装置

一な特性のフィルタが 6 枚製作できるようになり、フィルタ量産能率が著しく向上し、製作原価を低減することができた。さらに直径400 mm のベルジャーを用いて同時に 8 枚生産できる量産装置を作り、特性をしらべた結果よく一致したものが得られた。実用上フィルタの直径は 13 mm 程度のもので十分であり、この大きさならば第18 図に示すように一つのわくに 3 枚ずつ入るから、18~24枚のフィルタを同時に作ることができ、それらの特性もすべてよく一致したものが得られた。これらの量産機は現在干渉フィルタの生産に大いに役立っている。

# 6. 結 言

真空蒸発法によって試料全面にわたって高精度で均一な膜厚に蒸 着する方法について実験し、干渉フィルタに応用した。

最初に蒸発源を点・線・平行二重線・円形などと配置した場合の 膜厚偏差および利用率を計算し、実験によって最良の方法を求めた 結果、平行二重線蒸発源はその配置も簡単で偏差も少なく、利用率 もよくて限られた真空容器内で最大の均一蒸着面をうることができ た。

この蒸発源の配置法による均一蒸着法を干渉フィルタ製法に応用し、直径 30 mm の特性の均一なフィルタが得られた。干渉フィルタを作る場合に必要な膜厚許容偏差を計算した結果、中心波長の移動量を  $1 \,\mathrm{m}\mu$  以内にするのに  $700 \,\mathrm{m}\mu$  のフィルタで  $0.18 \,\%$  以内におさえる必要があるので、上述の方法では直径  $30 \,\mathrm{mm}$  のものが限度であった。

第2表 干渉フィルタ中心波長のばらつきの測定結果

| フィルタの種類<br>同時<br>蒸着フィルタ |       | No.54 | No.55 | No.55 | No.56 | No.56 | No.61 | No.61 |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1                       | 542   | 538   | 552   | 556   | 565   | 568   | 615   | 608   |
| 2                       | 541   | 540   | 552   | 558   | 565   | 568   | 614   | 608   |
| 3                       | 540   | 540   | 550   | 556   | 566   | 568   | 615   | 608   |
| 4                       | 540   | 538   | 550   | 556   | 567   | 570   | 614   | 608   |
| 5                       | 542   | 538   | 550   | 555   | 566   | 568   | 615   | 608   |
| 6                       | 540   | 540   | 552   | 556   | 565   | 568   | 614   | 608   |
| 中心波長平均 (mμ)             | 540.8 | 539.0 | 551.0 | 556.2 | 565.7 | 568.3 | 614.5 | 608.0 |
| 最 大 偏 差 (mμ)            | 1.2   | ±1.0  | ±1.0  | 1.8   | 1.3   | 1.7   | ±0.5  | 0     |

第3表 干渉フィルタ測定位置の相違による中心 波長ずれの測定結果 (色からの測定結果)

| フィルタの種類<br>測定位置* | No.54 | No.55 | No.56 | No.61 |  |
|------------------|-------|-------|-------|-------|--|
| 1)               | 542   | 552   | 565   | 614   |  |
| 2                | 542   | 552   | 565   | 615   |  |
| (3)              | 542   | 553   | 566   | 615   |  |
| 4                | 542   | 553   | 566   | 616   |  |
| (5)              | 543   | 551   | 566   | 615   |  |
| (6)              | 543   | 552   | 566   | 615   |  |
| 中心波長平均 (mμ)      | 542.3 | 552.2 | 565.5 | 615.0 |  |
| 最大偏差(mμ)         | 0.7   | -1.2  | ±0.5  | ±1.0  |  |

<sup>\*</sup> 測定位置 No. は第8図に示すものである。

さらに直径 200 mm 程度の大形の均一な干渉フィルタを作るため、試料回転法について実験し、中心波長のずれが  $5 \text{ m}\mu$  以内のフィルタを作ることができた。

実用上は30 mm ないし13 mm 程度の大きさの干渉フィルタで十分であるから、一回の蒸着装作で、均一なものが8ないし24枚同時にできる量産装置を作り、各フィルタの特性のばらつきおよび色むらを測定した結果、非常によく一致したものが得られ、フィルタの量産に役立てることができた。

以上の均一蒸着法は干渉フィルタの製作のみならず、膜厚の均一性を必要とするものの製作に広く応用することができる。

終りに臨み本実験に際し種々ご指導ご協力いただいた日立製作所 多賀工場関係者各位に厚くお礼申しあげる。

#### 参 考 文 献

- (1) 岩崎: 日立評論 42, 221 (1960)
- (2) J. Strong: J. Opt. Soc. Am. 26, 73 (1936)
- (3) L. Holland: "Vacuum Deposition of Thin Films"
- 4) R. A. Fisher, J. R. Platt: Rev. Sci. Inst. 8, 505 (1937)