

## 干 渉 フ ィ ル タ の 改 良

## Improvement of Interference Filters

岩 崎 敏 勝\*  
Toshikatsu Iwasaki

## 内 容 梗 概

干渉フィルタの特性・耐久性を改良するための装置を作り、蒸着中の膜厚測定法、膜厚の均一蒸着法および保護法について種々実験を行い、最適の方法を求め、各種試験を行ってその実用性をも確めた。また各種各形の干渉フィルタを作り、これらの特性を測定し比較検討し、明るくて波長幅のせまい単色光フィルタを作った。

## 1. 緒 言

干渉フィルタは真空蒸発法によって金属および非金属膜を希望の膜厚に均一に蒸着して作り、明るくて波長幅のせまい任意の単色光を取出すことができるフィルタである。フィルタ光電光度計をはじめ、単色光を必要とする理化学器械に広く利用されるようになってきた。

このフィルタは、L. N. Hadley, D. M. Dennison 氏<sup>(1)</sup>によって理論的にのべられた Fabry-Perot のエタロン形のものであり、これを用いて以前に種々の計算を行い性質をしらべ、試作してこれらを比較検討した<sup>(2)-(4)</sup>。

本報告は実用に適した干渉フィルタを作る目的で、その特性および耐久性の良好なものを作るために、製作上の諸問題について検討し、製法に便利な装置を作って真空蒸着法による製法、蒸着中の膜厚の測定法、膜厚の均一蒸着法および保護法について種々実験を行い最良の方法を求めた。そして各種試験を行ってこのフィルタの実用性を確めた。また各種各形の干渉フィルタを作って、その特性をしらべ、性能を比較検討し、従来のものよりも明るくて波長幅のせまい単色光フィルタを作った。

## 2. 干渉フィルタの製法

干渉フィルタの製法は生地板上に金属膜あるいは非金属膜を真空蒸発法によって蒸着して作る。第1図は金属薄膜干渉フィルタの構成を示す。この製法は清浄なガラス板上に銀薄膜を真空蒸発法によって所定の厚さにつけ、その上に透明膜の弗化マグネシウム(MgF<sub>2</sub>)を所望の厚さに均一に蒸着し、さらに銀薄膜を前回と同様の厚さにつける。この上面にカバーガラスをバルサムで貼りつけ、蒸着面を保護して仕上げる。このようにして各膜厚を適当に選ぶことにより希望の波長・特性の干渉フィルタを作ることができる。

## 2.1 真 空 蒸 発 法

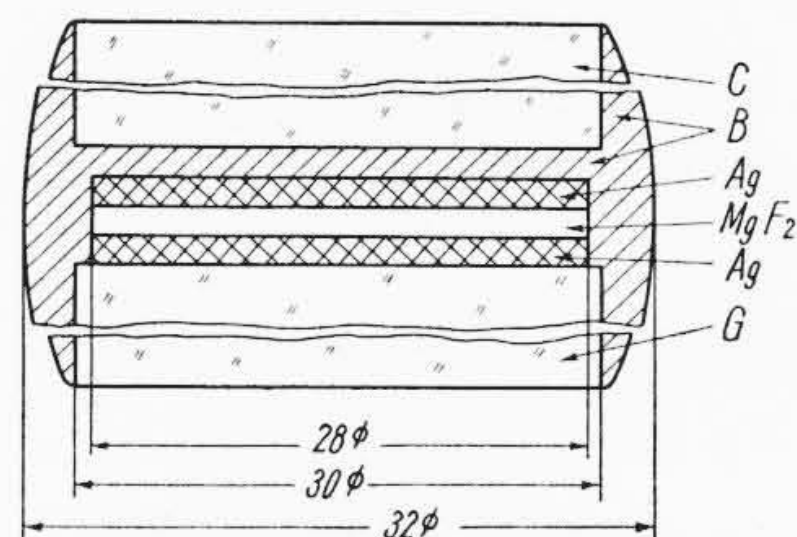
干渉フィルタの製法に使用した真空蒸発装置は第2図に示すもので、ベルジャーの直径 300 mm, 高さ 350 mm のものを使用した。蒸発源とフィルタ生地との距離はできるだけ離すほうが膜厚を均一に蒸着できるので、ここでは 250~300 mm 程度にとった。真空度は  $5 \times 10^{-5}$  mmHg より良くし、蒸発装置内は常に清潔にし、吸着ガスの影響を少なくすることが肝要である。蒸発源・蒸発物は十分予熱して吸着ガスや不純物を放出させる。この際にシャッターを用いて蒸発物の飛散を防ぐ、蒸発源は後述のように種々のものについて実験した結果ここでは Ag, MgF<sub>2</sub> とともに Mo ポートが最適であった。

蒸発法としては真空度が  $1 \times 10^{-5}$  mmHg に達したら、Ag・MgF<sub>2</sub>・Ag の順序に従って蒸発する。Ag の膜厚は光源ランプを点灯し、光電池で透過率を測定しながら所定の厚さに蒸着する。MgF<sub>2</sub> の場合は膜厚測定用ガラス板で干渉色を測定しながらつけ、鋭敏紫色になったらやめるようにする。これらの各膜厚測定法については後述

する。蒸発速度がおそいと Ag の場合吸収が増えるので、できるだけ速くつけ 5 秒程度で完了するのがよい。

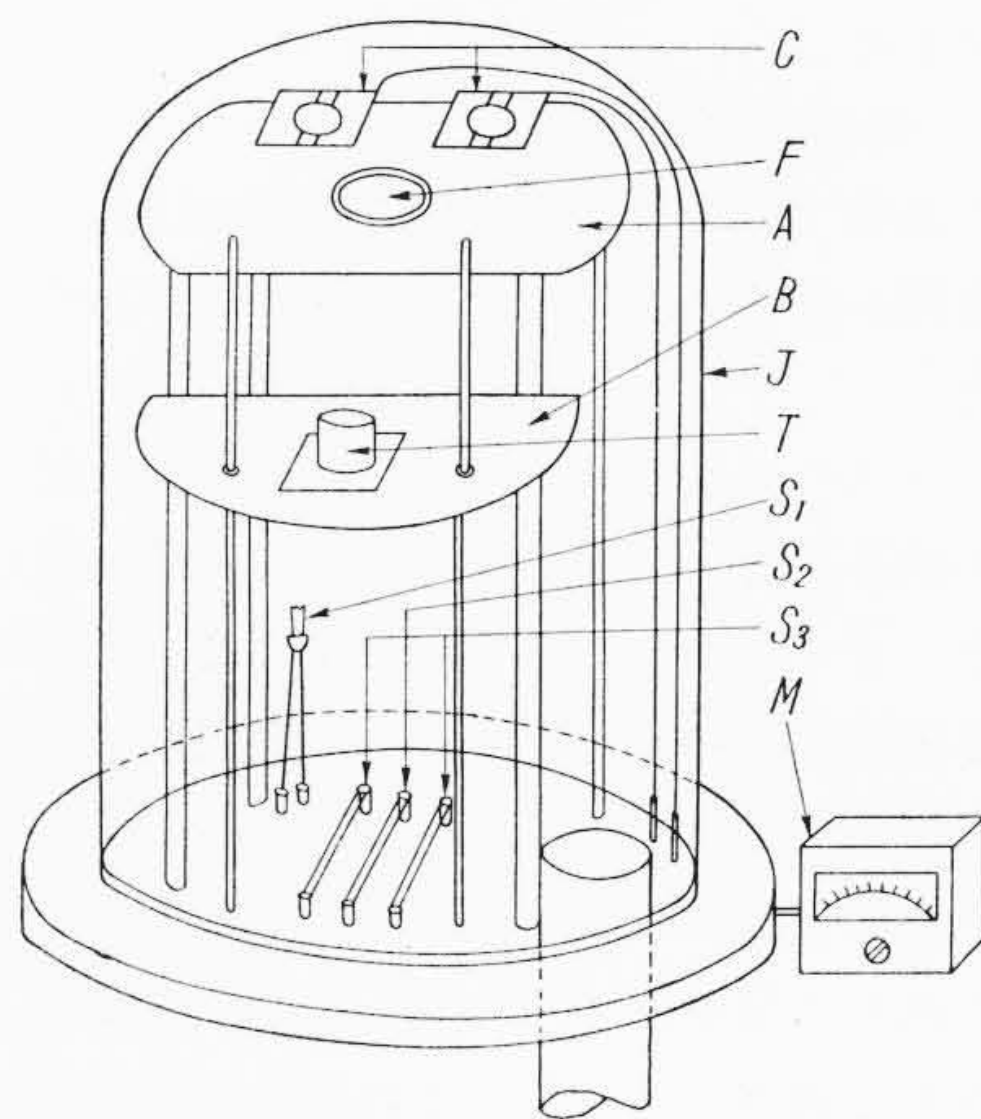
蒸着が終ればフィルタになった試料を取出し、ほこりや不純物の付着をさけてデシケータ中に保存し、約 24 時間ほど放置して色むらが消えるのをまつ。この際フィルタの中心波長は MgF<sub>2</sub> の場合、15~30 m $\mu$  長波長側にずれるので、あらかじめこの量を考慮に入れて作る必要がある。

蒸着したフィルタにカバーガラスをバルサムで貼り合わせ、恒温乾燥炉中で 80°C で 15~20 時間加熱処理する。次にバルサムが固まる前に周辺部も平均の厚さにぬりかため外周を保護する。このような処理によって蒸着膜が安定し、中心波長の移動がとまり、かつ外部よりの湿気、酸、アルカリなどの侵入による蒸着膜の変質を保護



C: カバーガラス Ag, MgF<sub>2</sub>: 蒸着膜  
B: バルサム G: ガラス生地

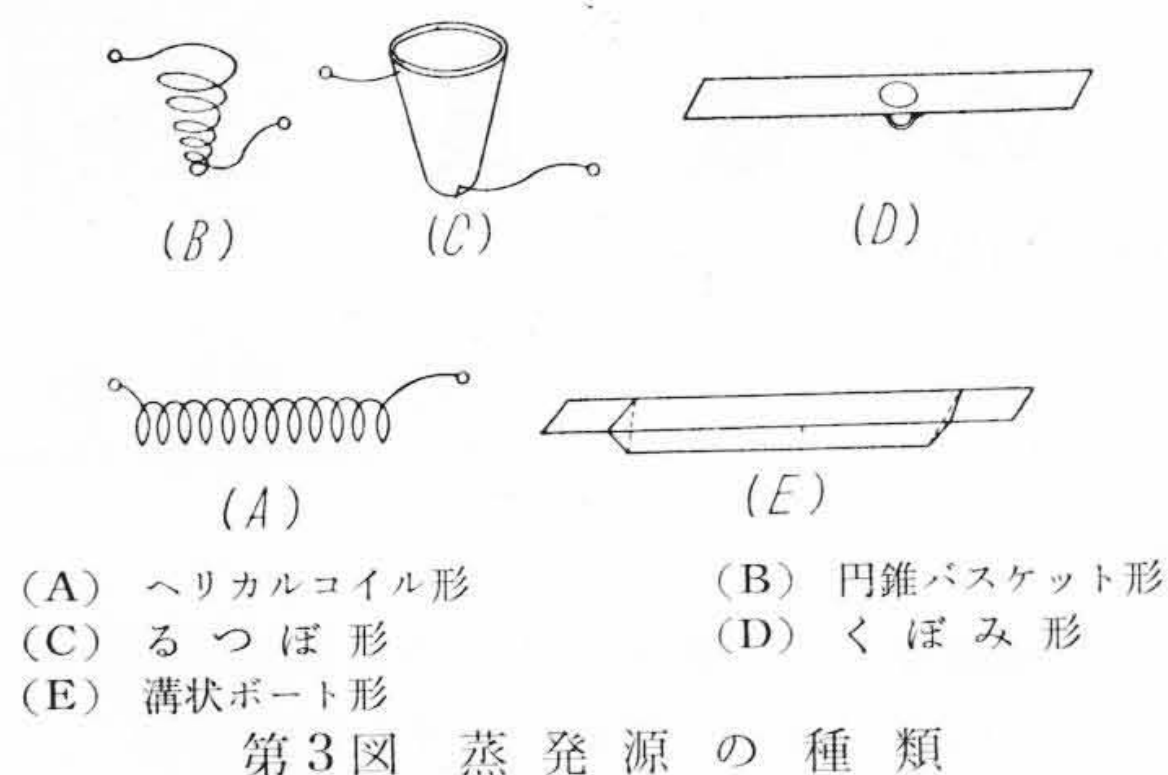
第1図 銀薄膜干渉フィルタの構成



C: Ag膜厚測定用光電池 T: MgF<sub>2</sub>膜厚測定部  
F: 干渉フィルタ生地 S<sub>1</sub>: 光源ランプ  
A: 固定架台 S<sub>2</sub>: MgF<sub>2</sub>用蒸発源  
B: 上下可動架台 S<sub>3</sub>: Ag用蒸発源  
J: ベルジャー M: 透過率測定用  $\mu$ Aメータ

第2図 干渉フィルタ製作用真空蒸発装置

\* 日立製作所多賀工場



することができる。

以上は銀薄膜干渉フィルタの製法であるが、透明多層膜および金属・透明膜併用の場合も同様にして作ることができる。

## 2.2 蒸 発 源

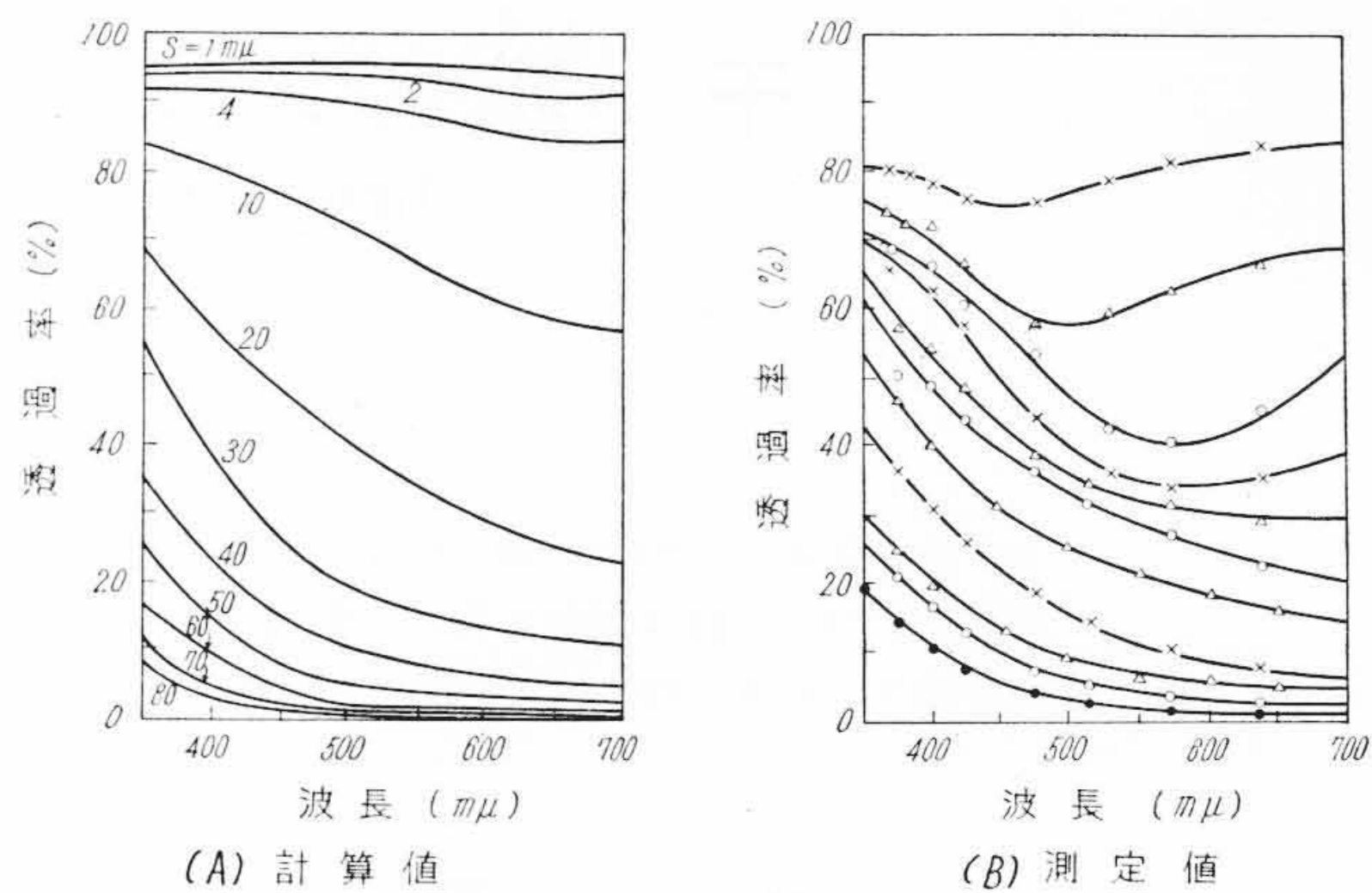
薄膜材料を真空中で加熱するために利用せられるヒータには次の3つの形がある。第一はWまたはMoの線をヘリカルコイル状にあるいは円錐状に巻いたもので、これに線状またはリボン状の材料を引っかけるか挿入するかしてコイルに加熱電流を通す。第3図(A)はヘリカルコイル形、(B)は円錐バスケット形である。第二はMo, W, Taなどの薄いリボンに適当なくぼみを作って材料をのせ、リボンに電流を流す方法で粉末材料に適し、大電流を流すことができれば大面積の蒸発源をつくることができる。第3図(D)はくぼみ形、(E)は溝状ボート形である。第三はセラミックのるつぼを用いる方法で、たとえばW線の円錐状コイルを $\text{Al}_2\text{O}_3$ や $\text{BeO}$ の懸濁液で塗りつぶして焼き固めたものが使われる。コイルの材料と反応しやすい物質の蒸発や、大量に蒸発する必要のあるときなどに便利である。第3図(C)はこのるつぼ形である。これらのヒータの作り方、使用法、蒸発法についてはJ. Strong<sup>(5)</sup>やO. Olsen<sup>(6)</sup>氏などの報告がある。

以上のような各蒸発源について実験した結果、アルミなるつぼでは多量の蒸発ができるが、吸蔵ガスを放出するので真空度が悪化する欠点があり、ヘリカルコイル形および円錐バスケット形では一回ごとに新しいものを用いる必要があり、またコイルの隙間より蒸発物の落下する欠点がある。結局Agも $\text{MgF}_2$ もMo板をボート状にして使用するのが最も結果がよく種々の欠点を除くことができた。厚さ0.1 mm、幅5 mm、長さ140 mmのMo板をV字形に折り曲げて、この部分に蒸発物をのせて使用した。Agでも $\text{MgF}_2$ でも十数回の使用に耐えられ、特に粉末試料の $\text{MgF}_2$ がこぼれる心配がないので便利である。

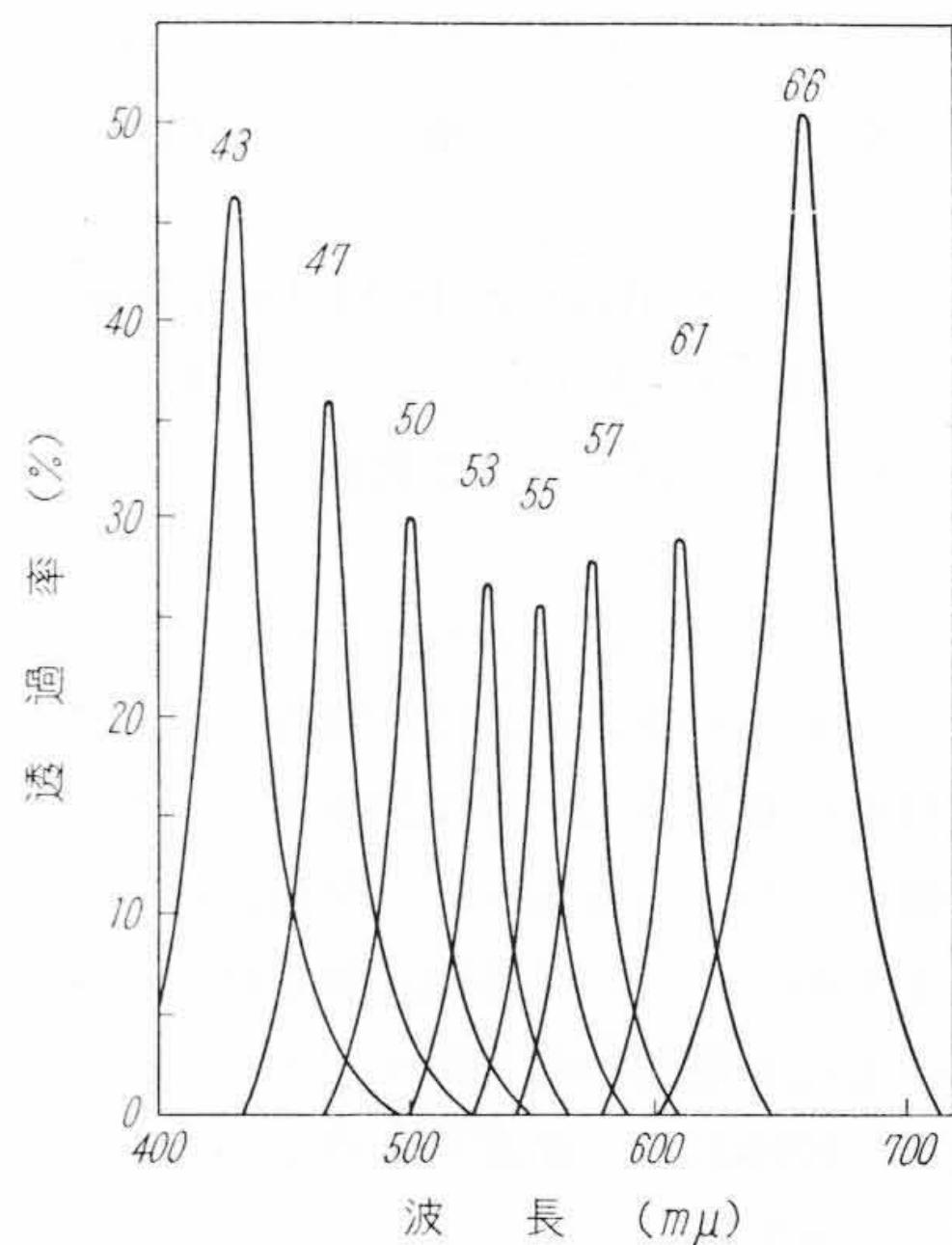
## 2.3 ガラス面の清浄法

フィルタを蒸着するガラス生地板に少しの汚れでもあったと、これによって蒸着膜が侵され、干渉フィルタの光学的性質が変化して使用できなくなってしまう。これを防ぎ耐久性のよいフィルタを作るには、生地ガラスの清浄を特に入念に行わなければならない。

ガラス面の清浄法として次の各方法について実験し、その結果を比較検討した。まず流水中で指の腹でよくこする指洗いは水滴が一樣に広がる程度に清浄になり、クロム酸混液に入れ化学的に洗浄する方法も同様に清浄な面が得られる。弗酸で洗浄する方法や焰で汚れを焼失させる方法およびイオンボンバードの方法などについて試みたが、これらは傷やひずみを生じやすく、またごみが付着したりしていずれも不適当であった。これらの結果実用的な清浄法として次の方法を採用した。すなわちまず石けん水で洗って、流水中で生地ガラス板を指でよくこすり全面にきしみ音がでるまで十分に洗う。次にクロム酸混液に浸し12時間放置したあと流水中でよく洗い、蒸留水で十分洗浄する。清浄な布で水分をよくふきとり、次にエーテル・アルコール混液でふき上げる。このようにして干渉フィルタ



第4図 銀薄膜の分光透過率



第5図 銀薄膜一次干渉フィルタの分光透過率

の蒸着に適した清浄なガラス生地をうることができた。

## 3. 各種干渉フィルタと測定結果

干渉フィルタは次の3種に分類することができる。

- (1) 金属薄膜干渉フィルタ
- (2) 透明多層膜干渉フィルタ
- (3) 金属・透明膜併用干渉フィルタ

これらの各種各波長の干渉フィルタを試作し、その特性を測定して比較検討した。測定には日立分光光度計を用い、波長幅0.5 mμで測定した。

### 3.1 銀薄膜の測定結果

最初に金属薄膜に使用する銀薄膜について測定を行った。第4図は各膜厚に対する銀薄膜の分光透過率の計算値(A)および測定値(B)を示す。両者はよく一致しているが、膜厚20 mμ以下で相違の生じているのは、この厚さでは膜が粒状になっているためその光学常数が厚さによって著しく変化するのに、計算では一定の光学常数を使用したためである<sup>(7)(8)</sup>。

この両者を比較することによって、分光透過率を測定しなくとも、ある波長での透過率あるいは白色光に対する透過率を測るのみで膜厚を求めることができる。

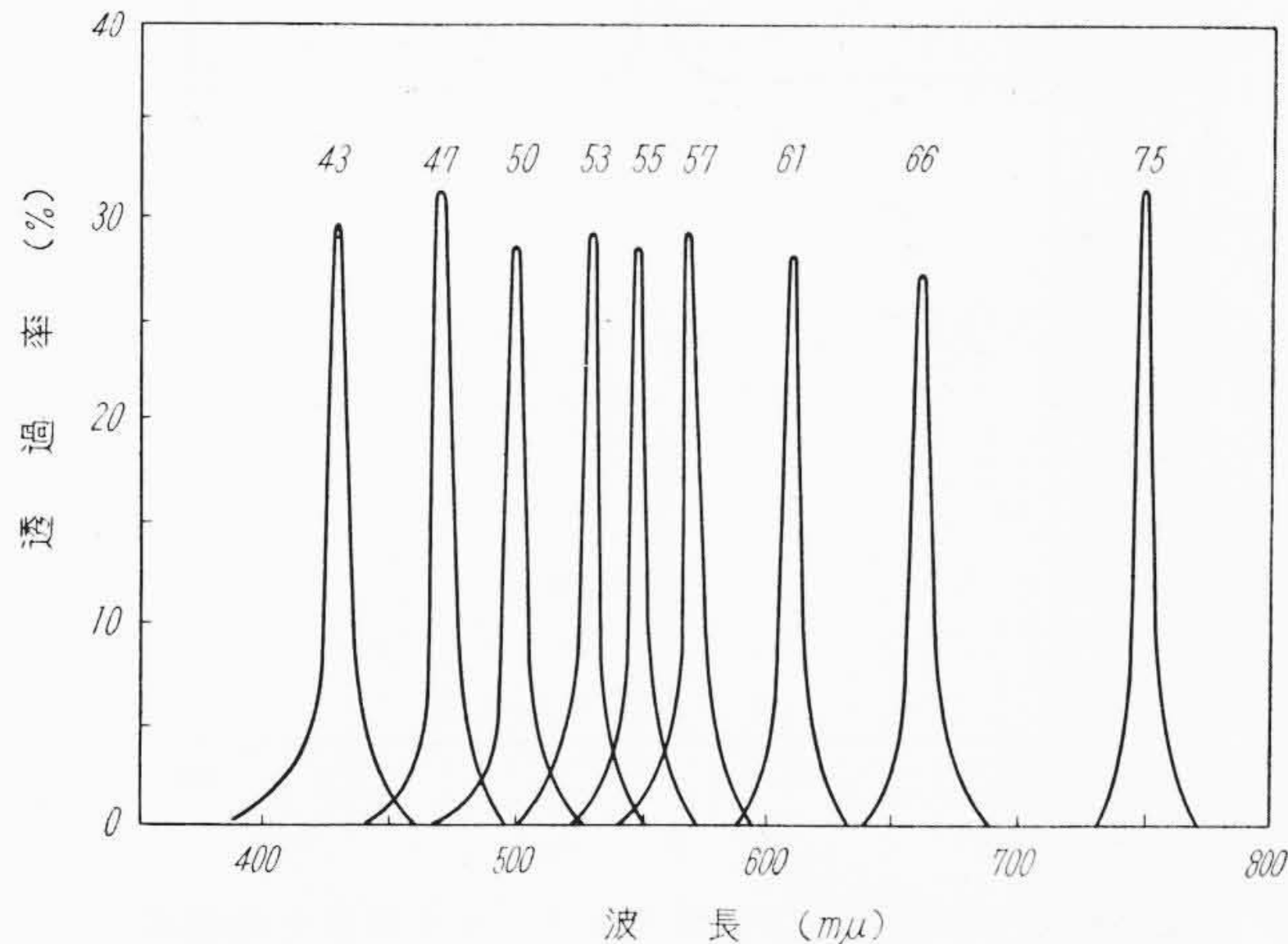
### 3.2 金属薄膜干渉フィルタ

金属膜としては計算の結果最も特性のすぐれた銀薄膜を用い<sup>(2)(3)</sup>、Ag+ $\text{MgF}_2$ +Agの構成のフィルタを作った。(第1図)

このうち中間層の $\text{MgF}_2$ の膜厚によってフィルタの中に波長が決

第1表 銀薄膜一次干渉フィルタの特性

| フィルタNo. | $\lambda_{\max}$ (m $\mu$ ) | T <sub>Fmax</sub> (%) | W (m $\mu$ ) | P.F. |
|---------|-----------------------------|-----------------------|--------------|------|
| 43      | 431                         | 47.2                  | 22           | 2.1  |
| 47      | 468                         | 35.0                  | 18           | 2.0  |
| 50      | 502                         | 30.0                  | 14           | 2.1  |
| 53      | 530                         | 27.0                  | 13           | 2.1  |
| 55      | 550                         | 25.1                  | 14           | 1.8  |
| 57      | 572                         | 27.8                  | 13           | 2.1  |
| 61      | 608                         | 28.2                  | 15           | 1.9  |
| 66      | 658                         | 50.7                  | 31           | 1.6  |



第6図 銀薄膜二次干渉フィルタの分光透過率

第2表 銀薄膜二次干渉フィルタの特性

| フィルタNo. | $\lambda_{\max}$ (m $\mu$ ) | T <sub>Fmax</sub> (%) | W (m $\mu$ ) | P.F. |
|---------|-----------------------------|-----------------------|--------------|------|
| 43      | 430                         | 29.4                  | 5.5          | 5.3  |
| 47      | 472                         | 31.2                  | 6.0          | 5.2  |
| 50      | 501                         | 28.6                  | 5.5          | 5.2  |
| 53      | 532                         | 29.4                  | 6.0          | 4.9  |
| 55      | 550                         | 28.0                  | 5.0          | 5.6  |
| 57      | 569                         | 29.1                  | 5.5          | 5.3  |
| 61      | 611                         | 28.0                  | 5.5          | 5.1  |
| 66      | 662                         | 27.0                  | 5.5          | 4.9  |
| 75      | 750                         | 31.2                  | 6.0          | 5.2  |

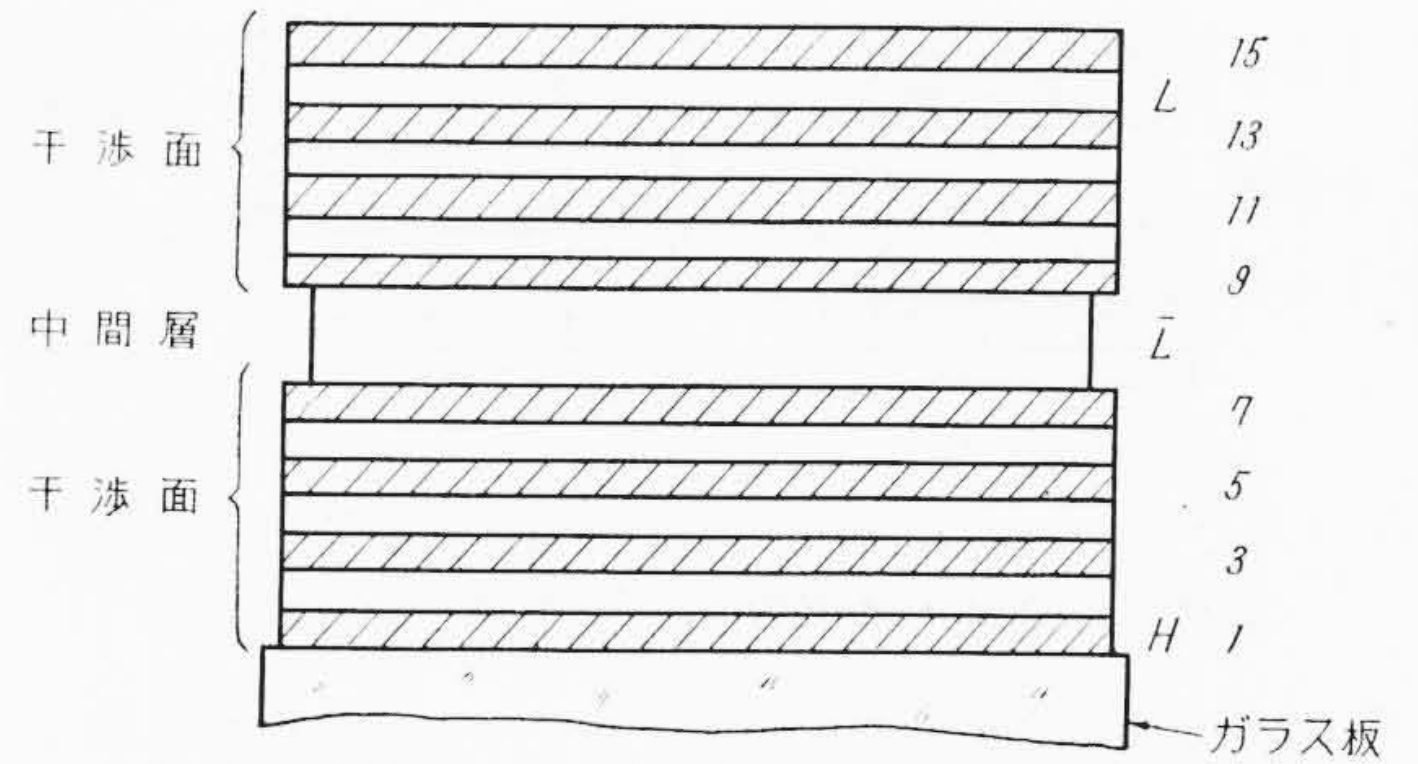
まり、Agの膜厚によって分光透過率特性（最大透過率および波長幅）が決まる。したがって膜厚を適当に選ぶことにより希望の波長および特性を持つフィルタを作ることができる。単色光フィルタとしては最大透過率T<sub>Fmax</sub>が大きいほど、波長幅Wが小さいほど望ましいのでT<sub>Fmax</sub>/Wが大きいほど良いことになる。この比率をP.F. (Peak Factor)と呼び、特性表示の目安として用いる。銀薄膜干渉フィルタの場合はT<sub>Fmax</sub>を40%くらいにするとP.F.が最大になって最も望ましい<sup>(3)</sup>。

第5図はフィルタ光電光度計に使用するためセレン光電池と組み合わせ出力が一定になるように設計製作した銀薄膜干渉フィルタの分光透過率の測定例である。第1表にはその特性を示す。

このフィルタの単色性を向上させ波長幅をさらにせまくするためには、中間層の膜厚を厚くして高次干渉を用いればよく、最大透過率はそのまま波長幅のみをせまくすることができる。第6図は同様にフィルタ光電光度計に使用するために、この二次干渉を用いて作った干渉フィルタの分光透過率の測定例で、第2表にその特性を示す。両者を比較して、二次干渉フィルタのほうが波長幅がせまくなり、単色性が向上しており、P.F.も一次の2程度より二次の5程度に2.5倍ぐらい増大している。フィルタ光電光度計に使用した結果もよく、その性能を一段と向上させることができた。

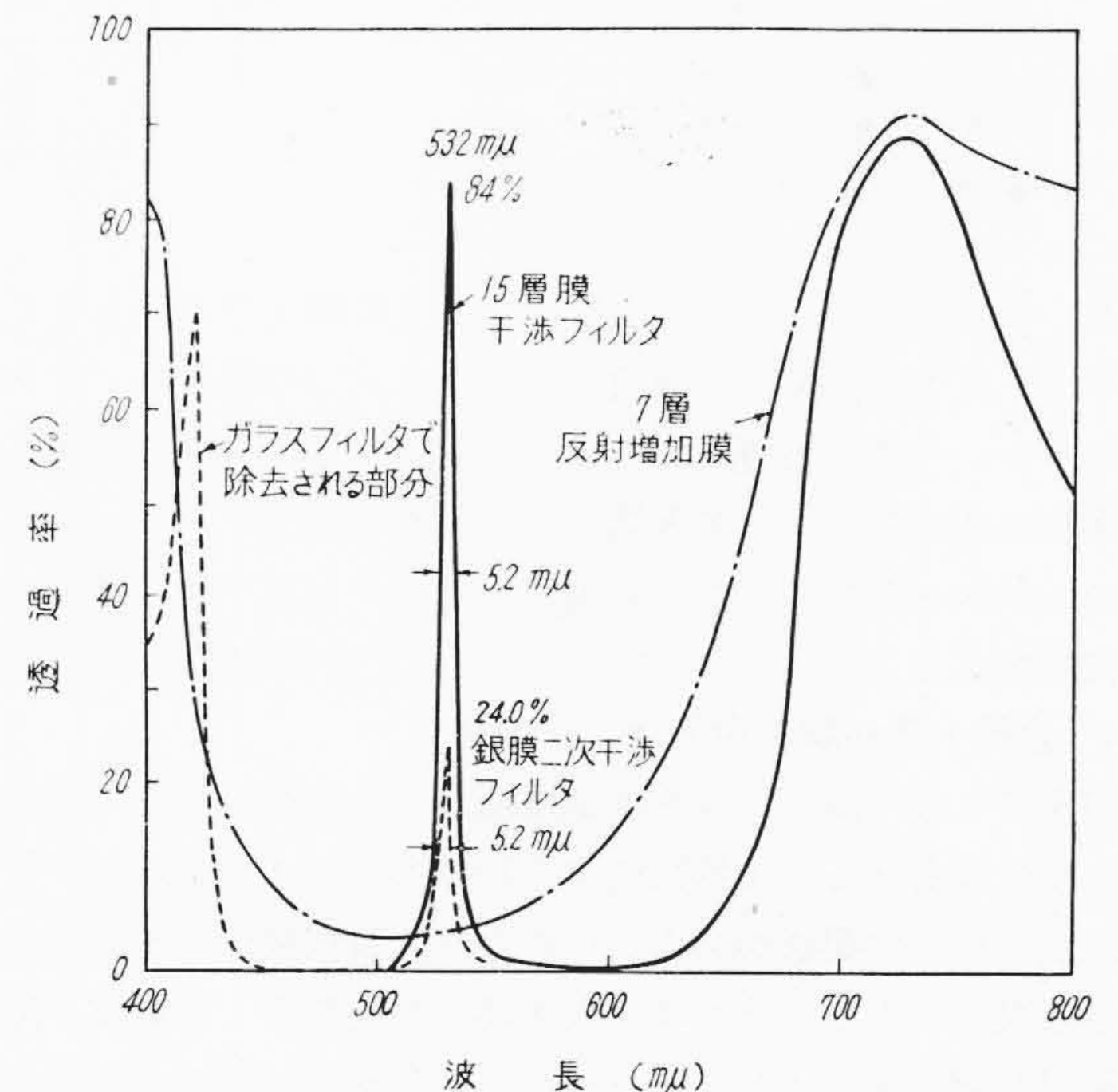
### 3.3 透明多層膜干渉フィルタ

干渉フィルタの反射干渉面に銀薄膜を使った金属膜干渉フィルタでは、その金属膜の吸収損失によって最大透過率をあまり大きくす



斜線を施した奇数番号(図示)はH膜、 $\bar{L}$ は中間層、 $\bar{L}$ を除く偶数番号(省略)はL膜を示す。

第7図 透明多層膜干渉フィルタの構成



第8図 透明15層膜干渉フィルタの分光透過率

第3表 透明多層膜干渉フィルタの特性比較

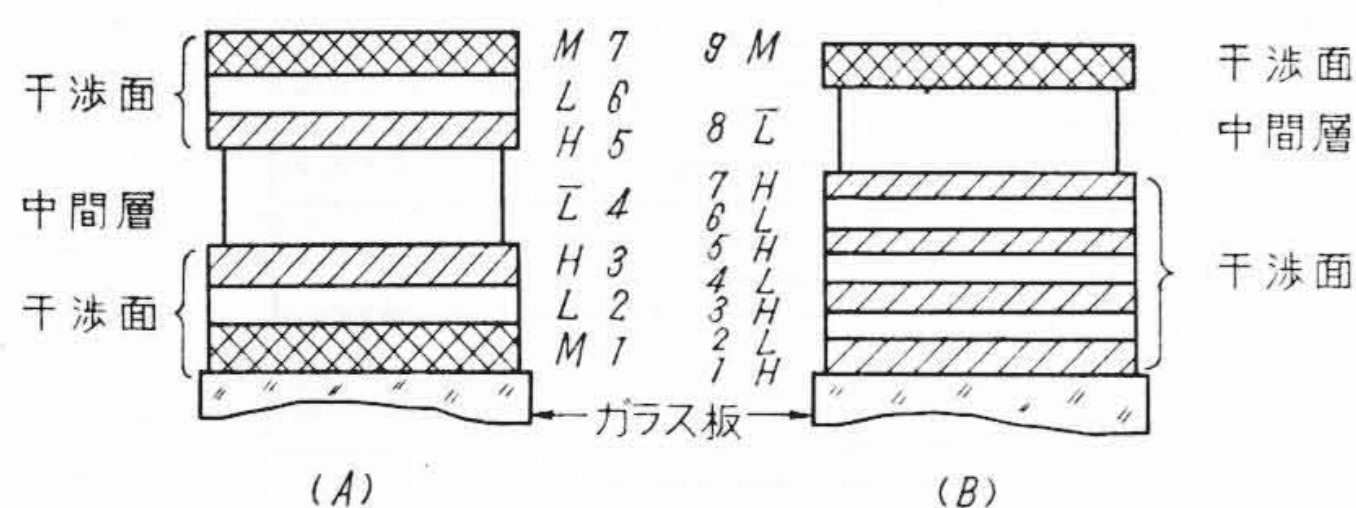
| 特性<br>フィルタの種類 | $\lambda_{\max}$ (m $\mu$ ) | T <sub>Fmax</sub> (%) | W (m $\mu$ ) | P.F. |
|---------------|-----------------------------|-----------------------|--------------|------|
| 15層、一次: A     | 434                         | 75.0                  | 6.2          | 12.0 |
| 15層、一次: B     | 490                         | 76.0                  | 5.8          | 13.1 |
| 15層、一次: C     | 532                         | 84.0                  | 5.2          | 16.1 |
| 15層、一次: D*    | 576                         | 81.5                  | 5.2          | 15.6 |
| 15層、一次: E     | 632                         | 75.5                  | 5.5          | 13.7 |
| 15層、一次: F     | 726                         | 74.0                  | 6.0          | 12.5 |
| 15層、二次*       | 576                         | 73.0                  | 4.2          | 17.1 |
| 19層、一次        | 532                         | 70.8                  | 3.0          | 23.6 |
| 23層、一次        | 556                         | 42.5                  | 2.0          | 21.3 |

\* 同時に蒸着して作ったもの。

ることはできない。しかし吸収がなくてしかも銀薄膜のように反射率の高い干渉面が得られれば、さらに明るくて波長幅のせまい干渉フィルタを作ることができる。

吸収のない透明な膜厚 $\lambda/4$ の膜で、その屈折率がガラスのそれよりも高い膜(H)と低い膜(L)を交互に奇数層積み重ねた多層膜は、7層で反射率が95%以上にも達し、吸収もないので、この種の変多層膜を干渉フィルタの上下干渉面に使用して第7図に示すような構成の透明膜のみの干渉フィルタを作ることができる<sup>(4)</sup>。

第8図は15層膜干渉フィルタの分光透過率の測定結果を示す。第3表はこの15層膜と19層および23層膜の干渉フィルタの特性を比較したものである。15層膜ではT<sub>Fmax</sub>は75~85%に、Wは5~6 m $\mu$ でP.F.も銀膜一次の約8倍、二次の約4倍になっていて、非常に明るい波長幅のせまいフィルタを作ることができた。波長幅をさらにせまくするために15層膜で二次干渉のものを作った結果、波長幅4.2 m $\mu$ とさらにせまいものができた。また19、23層と層数を増すほど波長幅をますますせまくすることができる。しかしあまり層



(A) 対 称 形                      (B) 非 対 称 形  
第 9 図 金属・透明膜併用干渉フィルタの構成

第 4 表 金属・透明膜併用干渉フィルタの特性比較

| 形 式   | $\lambda_{\max}$ (m $\mu$ ) | T <sub>Fmax</sub> (%) | W (m $\mu$ ) | P.F. |
|-------|-----------------------------|-----------------------|--------------|------|
| 対 称 形 | 7層, 一次*                     | 576                   | 41.5         | 6.0  |
|       | 7層, 二次*                     | 576                   | 38.6         | 4.2  |
|       | 11層, 一次                     | 536                   | 34.0         | 2.8  |
| 非対称形  | 9層, 一次★                     | 578                   | 41.0         | 7.0  |
|       | 9層, 二次★                     | 578                   | 41.0         | 5.2  |

\*, ★同時に蒸着して作ったもの

数を多くすることは、製作も困難になる上に種々の欠陥も生じるので、15層二次干渉のものが最適と思われる。この種のフィルタは膜に吸収がないので最大透過率を大きく明るくすることができるが、干渉面の位相の関係より第 8 図に見られるように、中心波長より 100 m $\mu$  くらい離れた位置から透過率が増大して不要の透過光を生じる欠点がある。したがってカットフィルタを併用する必要がある。

### 3.4 金属・透明膜併用干渉フィルタ

透明膜のみの干渉フィルタは金属膜のものに比べて最大透過率も大きく波長幅もせまくて特性のすぐれたフィルタであるが、層数が 15 層以上となって製法がめんどろになり、長波長側に不要の透過光を生じる欠点がある。それゆえ金属膜の高反射性と透明膜の無吸収性を利用し両者を併用してそれぞれの特長を生かすようにすれば、層数が少なくても特性のよいフィルタを作ることができるはずである。

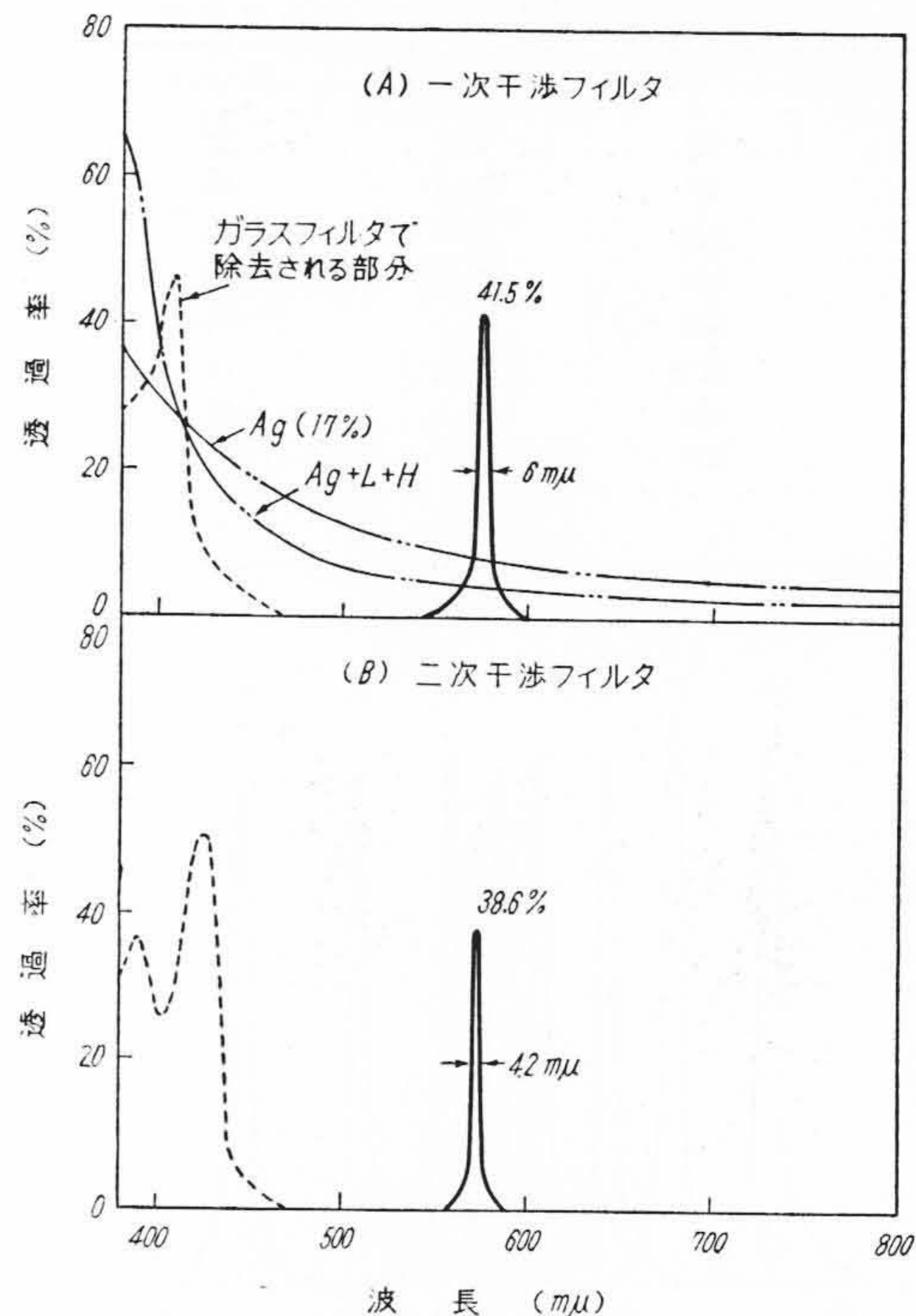
第 9 図(A)に示すように、半透明金属膜 M の上に L+H の透明交互層膜をつけて、これで反射を増加させた干渉面を用いると、L+H 層には吸収がないので反射のみを増加させることができるから、これを用いた干渉フィルタは波長幅をさらにせまくすることができる。この(A)図は中間層(L)に関して対称であるから対称形と呼ぶことにする。L+H の一対を用いた総計 7 層および二対を用いた 11 層のものを試作した。

次に一方の干渉面には金属膜を、他方には前述の透明多層反射増加膜を用いて第 9 図(B)に示すような構成の干渉フィルタを作ると、これは金属や透明膜のみの干渉フィルタの特性の中間値に近いものが得られると想像される。この形は中間層に対して非対称であるから非対称形と呼ぶ。層数は 7 層反射増加膜を用いた総計 9 層のものを試作した。いずれも層数は 15 層膜よりは少なくできる。

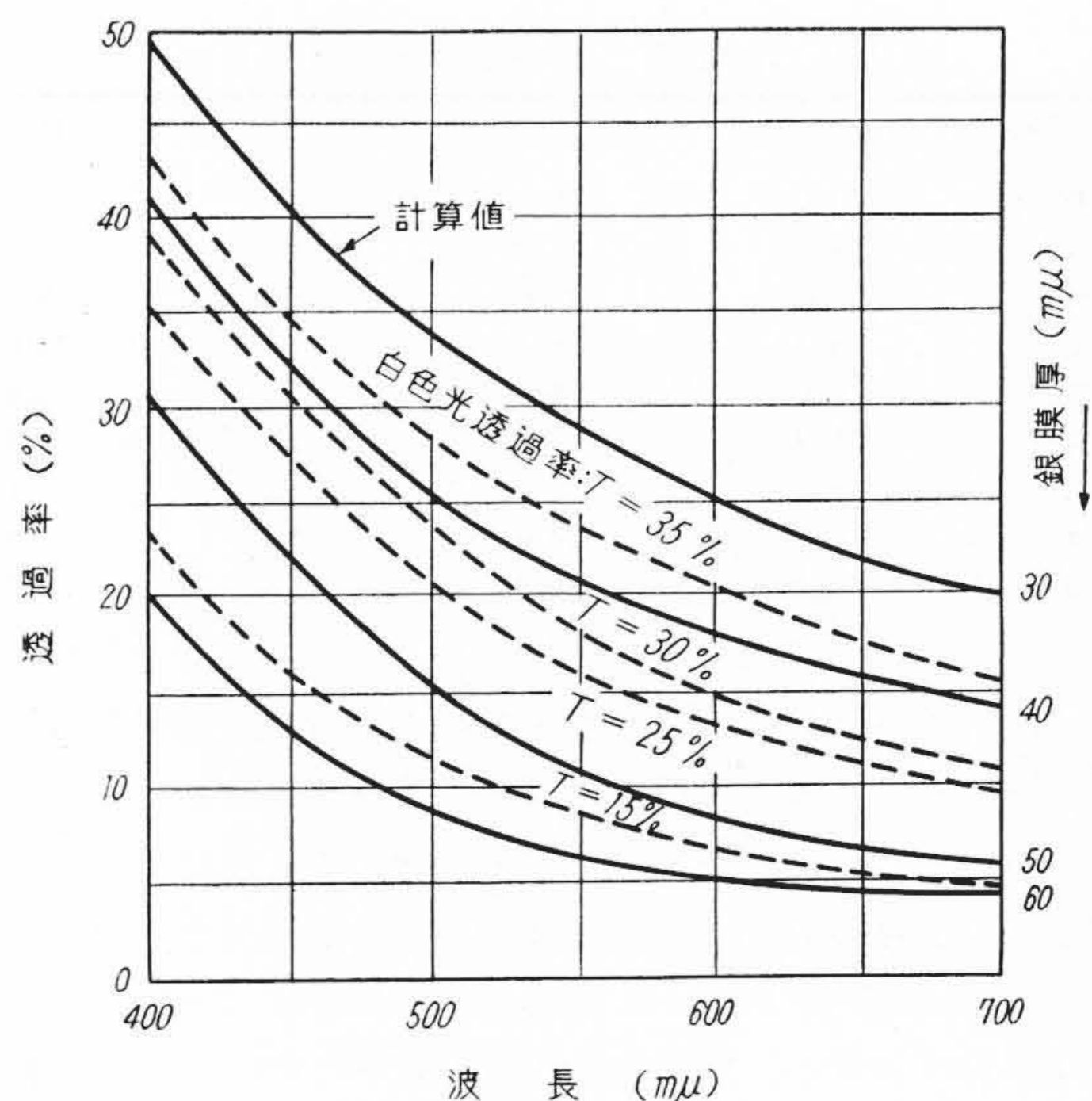
第 4 表は試作した上記併用フィルタの特性を一括して示したものである。第 10 図は 7 層対称形併用フィルタで、(A)図は一次(B)図は二次干渉のものを同時に蒸着して作り、その分光透過率を測定した結果である。銀膜のみのものに比べて波長幅がせまく、特性もすぐれている。層数も 7 層と少ないので、製作容易で、しかも長波長側に不要の透過光を生じないから、金属や透明膜のみの干渉フィルタのいずれよりもすぐれた特長があり、その併用効果を発揮している。

L+H 層を二対用いた 11 層対称形では波長幅 2.8 m $\mu$  と非常にせまくなるが、この究局はつまり前述の透明多層膜となるから併用効果を最もいかす点では 7 層対称形のほうが良い。

非対称形も金属膜のみの場合よりは特性はよくなるが、対称形と比較すると波長幅がやや広いようである。



第 10 図 7 層対称形併用干渉フィルタの分光透過率



第 11 図 銀薄膜の白色光透過率と分光透過率の関係

## 4. 膜 厚 測 定 法

薄膜の厚さを測る方法としては、大別して重量法、光電法、干渉法、偏光法などがある。干渉フィルタの製作上は、蒸着中に金属および非金属の膜厚を測定し制御する必要があるので、これらの測定法を検討し、最適な方法を選んだ。

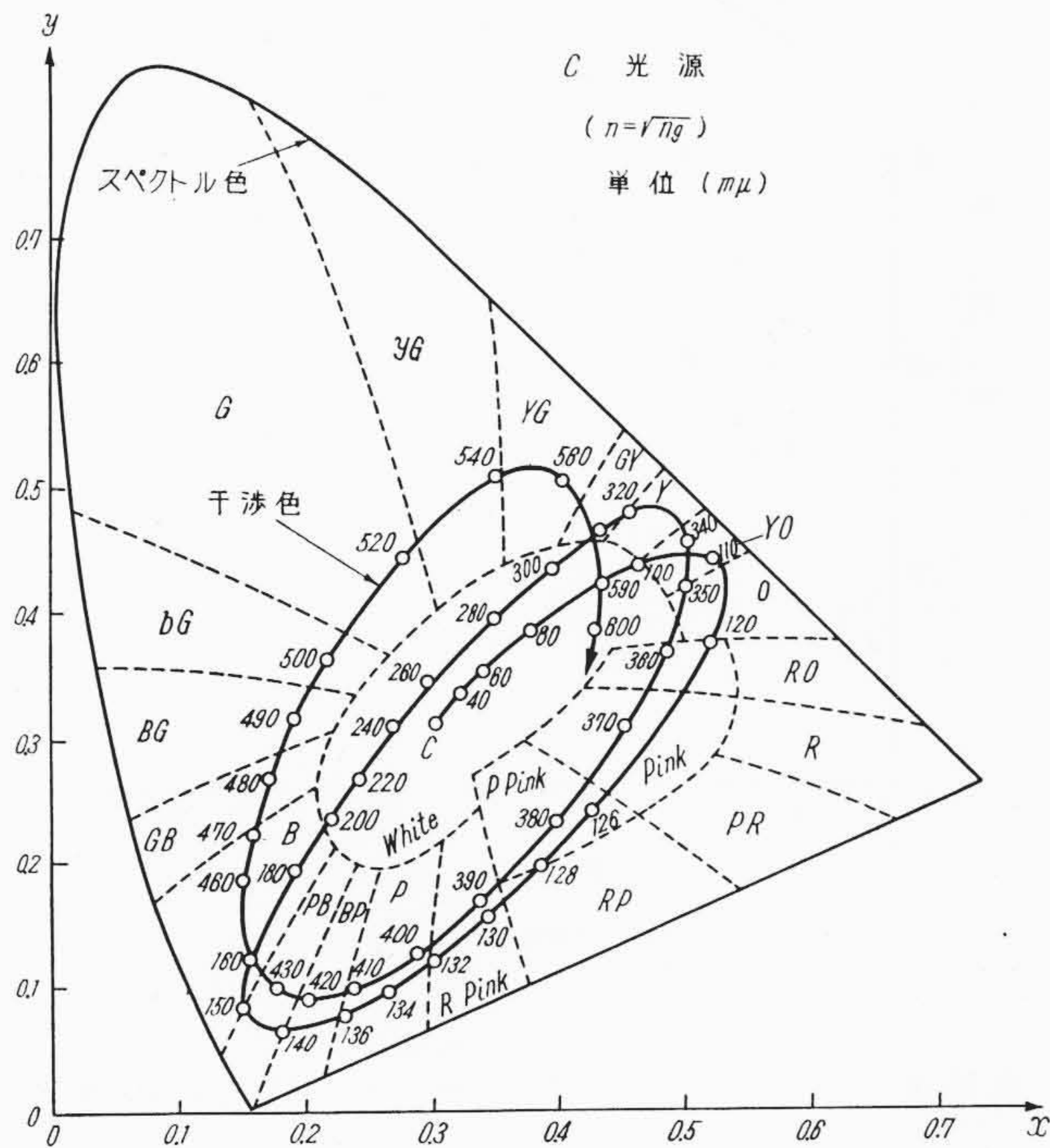
### 4.1 金属膜の測定法

金属膜の厚さを蒸着中に測定するには、第 2 章でのべたように、蒸着装置内に光源ランプと光電池を入れておきその透過率を測定しながら希望の厚さにつければよい。白色光に対する透過率と膜厚との関係は、分光透過率を測定して第 4 図の計算結果と比較すれば求まり、一例を第 11 図に示す。この測定法の精度は、白色光透過率が 0.5% 以内に求まるから、膜厚を 1 m $\mu$  以内におさえることができる。

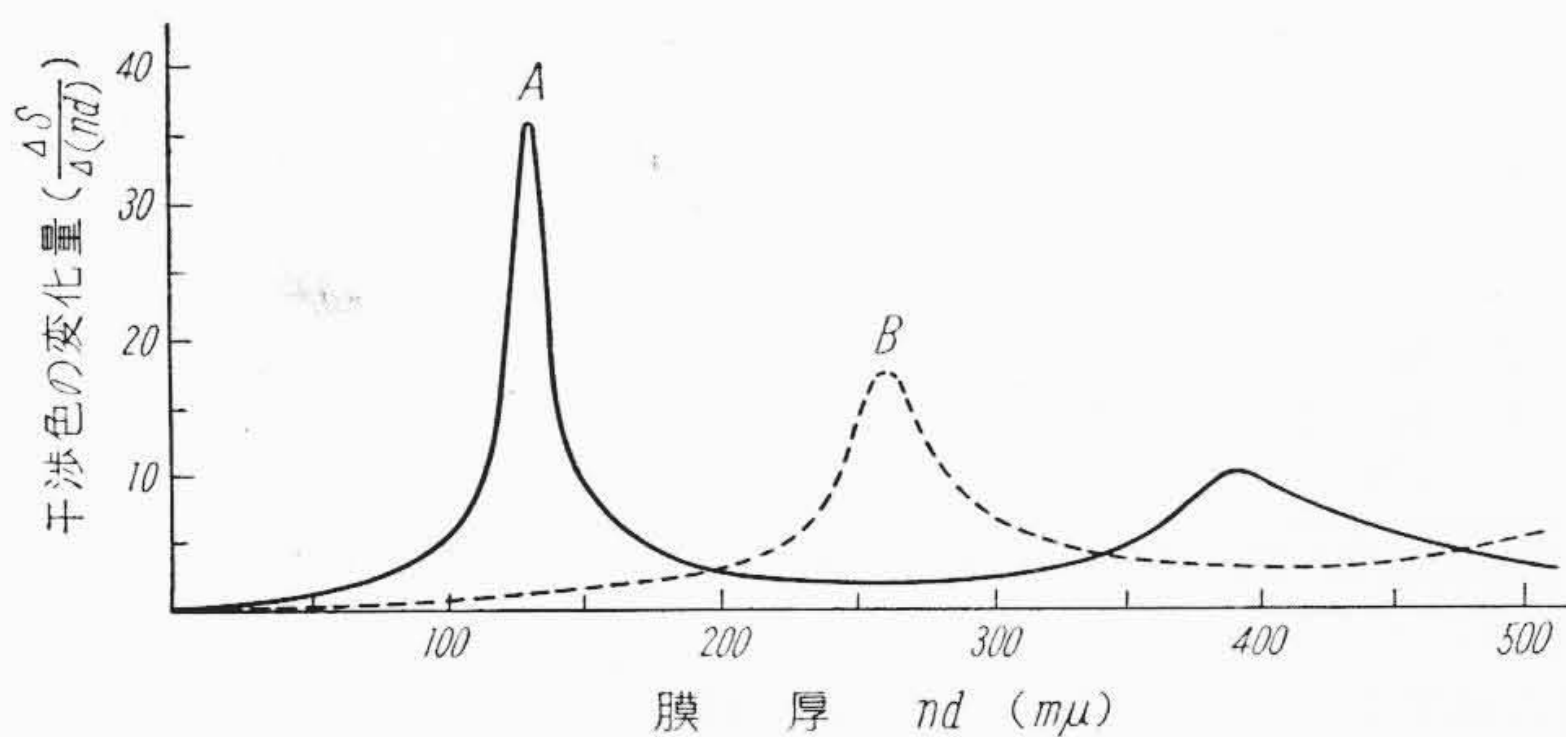
実際に干渉フィルタを作る場合は、蒸発源と架台の距離や蒸発源

第5表 干渉フィルタの中心波長と銀薄膜の白色光透過率の関係

| 干渉フィルタの中心波長 (m $\mu$ ) | 430 | 470 | 500 | 530  | 550  | 570  | 610  | 660  |
|------------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|
| 銀薄膜の白色光透過率 (%)         | 7.0 | 8.5 | 9.5 | 10.0 | 10.5 | 11.0 | 11.5 | 13.0 |



第12図 膜厚と干渉色との関係



A: MgF<sub>2</sub>, 水晶石の場合  
B: ZnS の場合

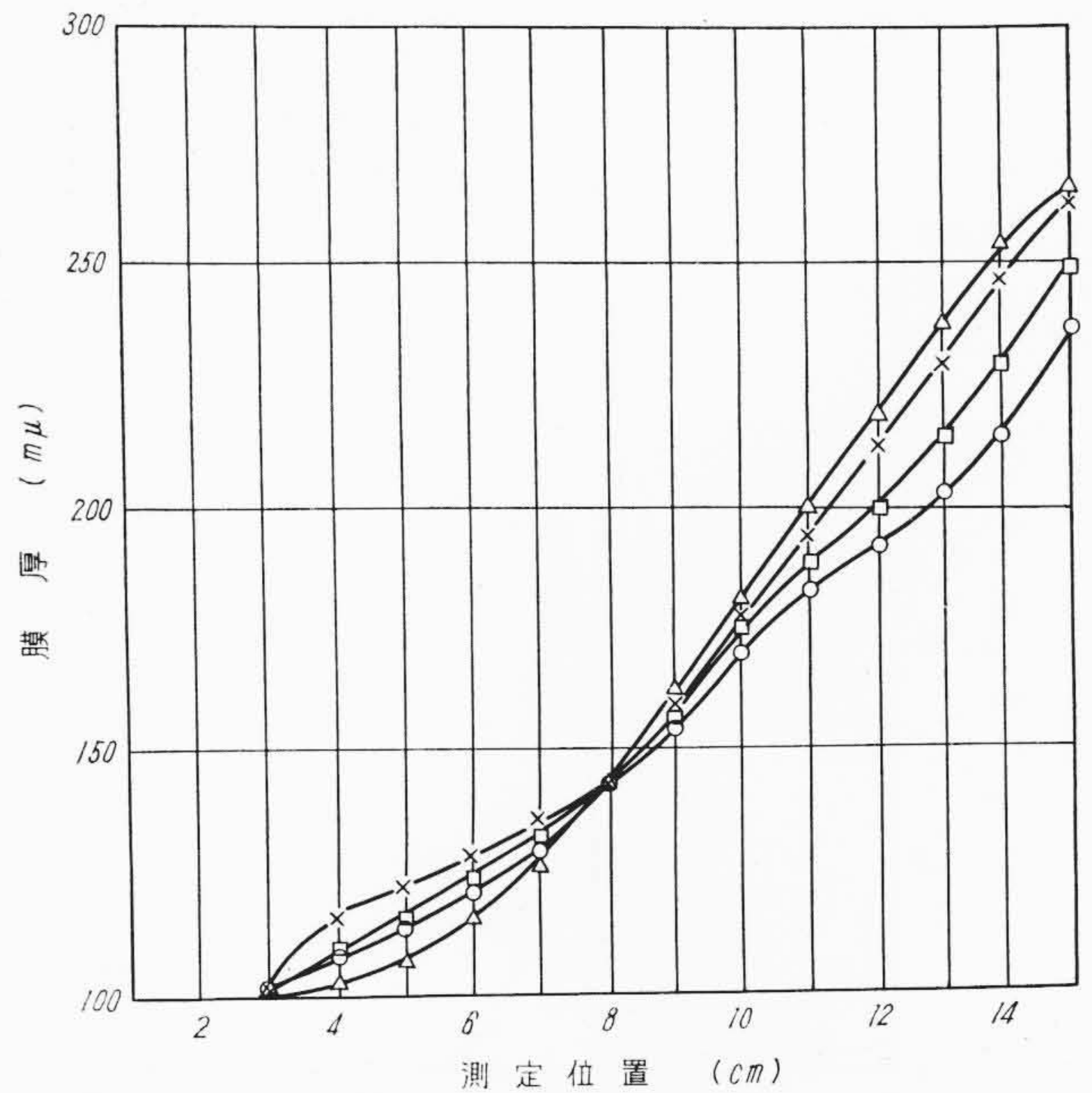
第13図 膜厚と干渉色の变化量との関係

の形状も影響するので、実験によってその関係を求める。筆者の行った一例では最大透過率を30%に一定にし特定の中心波長のフィルタを作るには、銀膜の白色光透過率を第5表のようにつけばよい。

#### 4.2 非金属膜の測定法

非金属膜の MgF<sub>2</sub>、水晶石(L)および ZnS(H)などの膜厚を蒸着中に所定の厚さにつけるには干渉色を利用して行った。

薄膜の膜厚と干渉色の関係は、MgF<sub>2</sub>のように屈折率がガラスより低い膜(L)の場合は、第12図に示すようになる<sup>(11)</sup>。これはC光源を用い屈折率  $n_g$  のガラス板上に  $\sqrt{n_g}$  の屈折率の膜をつけた時の膜厚と干渉色の関係を、分光反射率より計算し色度図に示したものである。この関係より干渉色を測定して膜厚を求めることができる。この関係より膜厚と干渉色の变化量の様子をみると第13図に示すような関係になり、膜厚約 130 m $\mu$  付近の紫色のところで干渉色が鋭敏に変化している。このところを鋭敏紫色といい、これを測定しながら蒸着すれば、膜厚は精度よく、1%程度の精度でつけることができる。第13図に示すようにMgF<sub>2</sub>の場合は膜厚が  $\lambda/4$  になる 130 m $\mu$  付近で鋭敏色を生じるが、ZnSなどの場合は  $\lambda/2$  の 260 m $\mu$



第14図 干渉色と膜厚の測定結果

第6表 干渉フィルタの中心波長と蒸発源から膜厚測定板までの距離との関係

| 中心波長 (m $\mu$ ) | 430 | 470 | 500 | 530 | 550 | 570 | 610 | 660 |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 距離 (mm)         | 245 | 260 | 270 | 280 | 285 | 290 | 305 | 325 |

付近で鋭敏色になる。したがって MgF<sub>2</sub> の  $\lambda/4$ 、ZnS の  $\lambda/2$  の膜厚はつけやすいが、MgF<sub>2</sub> の  $\lambda/2$ 、ZnS の  $\lambda/4$  の膜厚は、干渉色の変化が鈍いのでつけにくいことになる。このような場合には斜入射角で鋭敏色を測定するか、雇の高さをずらして  $\sqrt{2}$  倍あるいは  $1/\sqrt{2}$  倍の高さにしてつけるようにすればよい。

第14図はMgF<sub>2</sub>を楔形に蒸着してその干渉色より膜厚を測定した一例で、筆者など4人の測定結果を示す。この結果からも上記鋭敏色の近くでは個人差がきわめて少なく、測定精度が高いが、ほかの膜厚(干渉色)では個人差の影響が著しく現われていることを示す。

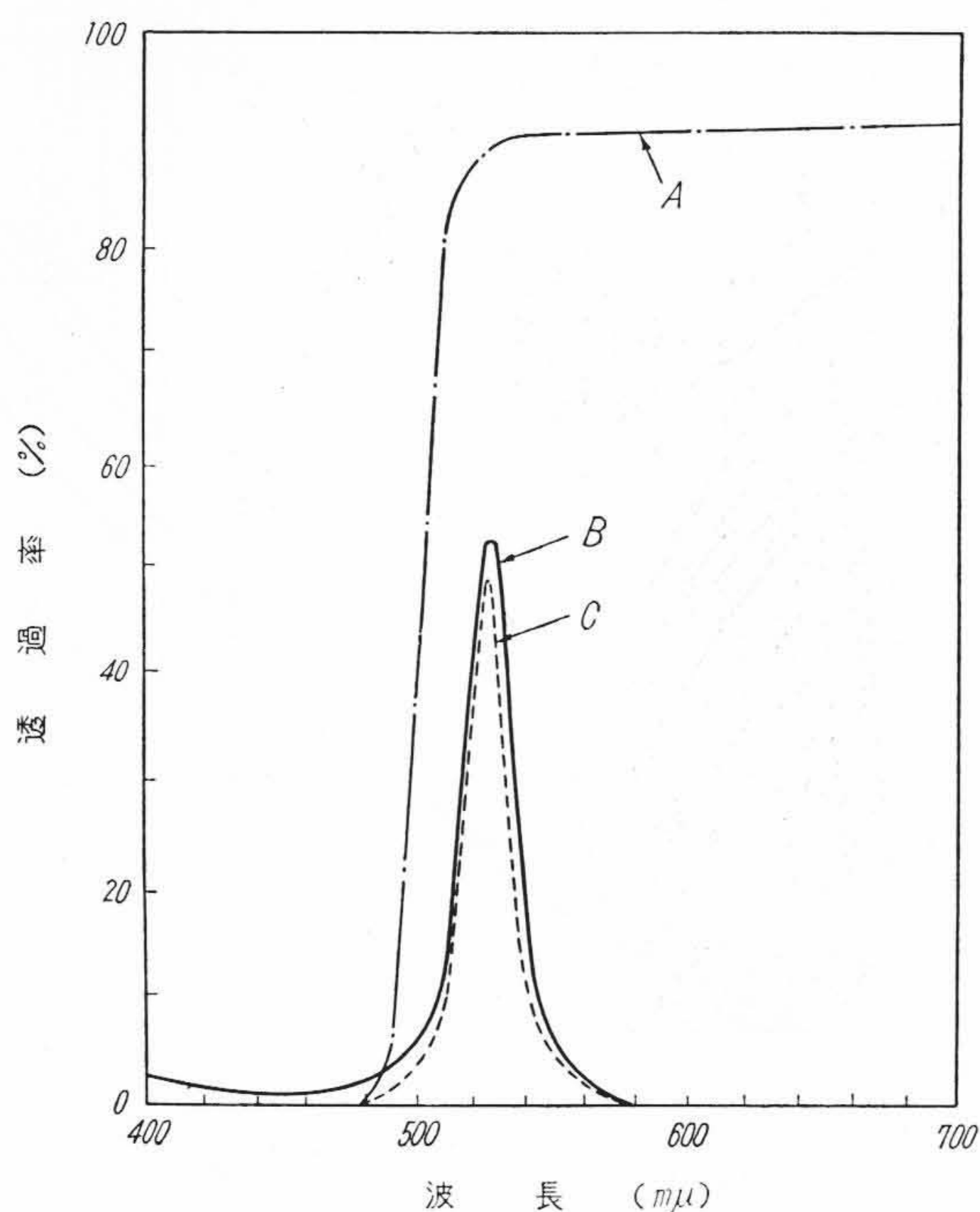
常に鋭敏色を測定しながら各波長の干渉フィルタを作るには、第2図に示すようにフィルタ生地の上に膜厚測定用ガラス板をおき、これを上下可動式にしておいて、その高さを調節することにより、フィルタの位置には希望の膜厚につくようセットする。筆者の行った例では、蒸発源とフィルタの距離を 250 mm としたとき、膜厚観察用ガラス板と蒸発源の距離とフィルタの中心波長の関係は第6表に示すようになる。

#### 5. 膜厚の均一蒸着法

干渉フィルタは中間層のわずかな膜厚の不均一でも中心波長のずれを生じ、フィルタに色むらが現われる。これを防ぐためには蒸着膜は高精度で均一につける必要がある。この膜厚の均一蒸着法については別報で詳細に報告することにする<sup>(12)</sup>。

#### 6. 干渉フィルタの保護法

干渉フィルタは蒸着面をそのまま露出すると、ごみが付着したりきずが入ったり、また湿気、酸、アルカリなどに侵されて使用できなくなる。それゆえ蒸着面に、第2章でのべたようにカバーガラスをバルサムで接着し、さらに周辺部もバルサムでおおって保護する。また 80°C の恒温乾燥炉中で 15~20 時間加熱処理して膜の安定をはかり、中心波長の移動を防ぐ。これらの方法について実験した結果をのべる。



A: 色ガラスフィルタのみ    B: 干渉フィルタのみ  
C: 両者を組み合わせたもの  
第 15 図 干渉フィルタに色ガラスフィルタを  
貼り合わせた場合の分光透過率

## 6.1 接 着 法

カバーガラスには透明ガラスを使用することもあるが、干渉フィルタの短波長側の不要透過光をカットして特性を改良するために、短波長側を鋭くカットする色ガラスフィルタを使用する。このようにすれば斜入射光が混入してきても特性を悪くすることがないので、完全な平行光線でなくとも安心して使用できる<sup>(3)</sup>。第 15 図は干渉フィルタに短波長側を鋭くカットする色ガラスフィルタを貼り合わせた場合の分光透過率の測定例を示す。

透明多層膜、併用フィルタおよび高次干渉フィルタの場合は、特にこのカットフィルタが必要である。

このようにして干渉フィルタの特性を向上させることができる。

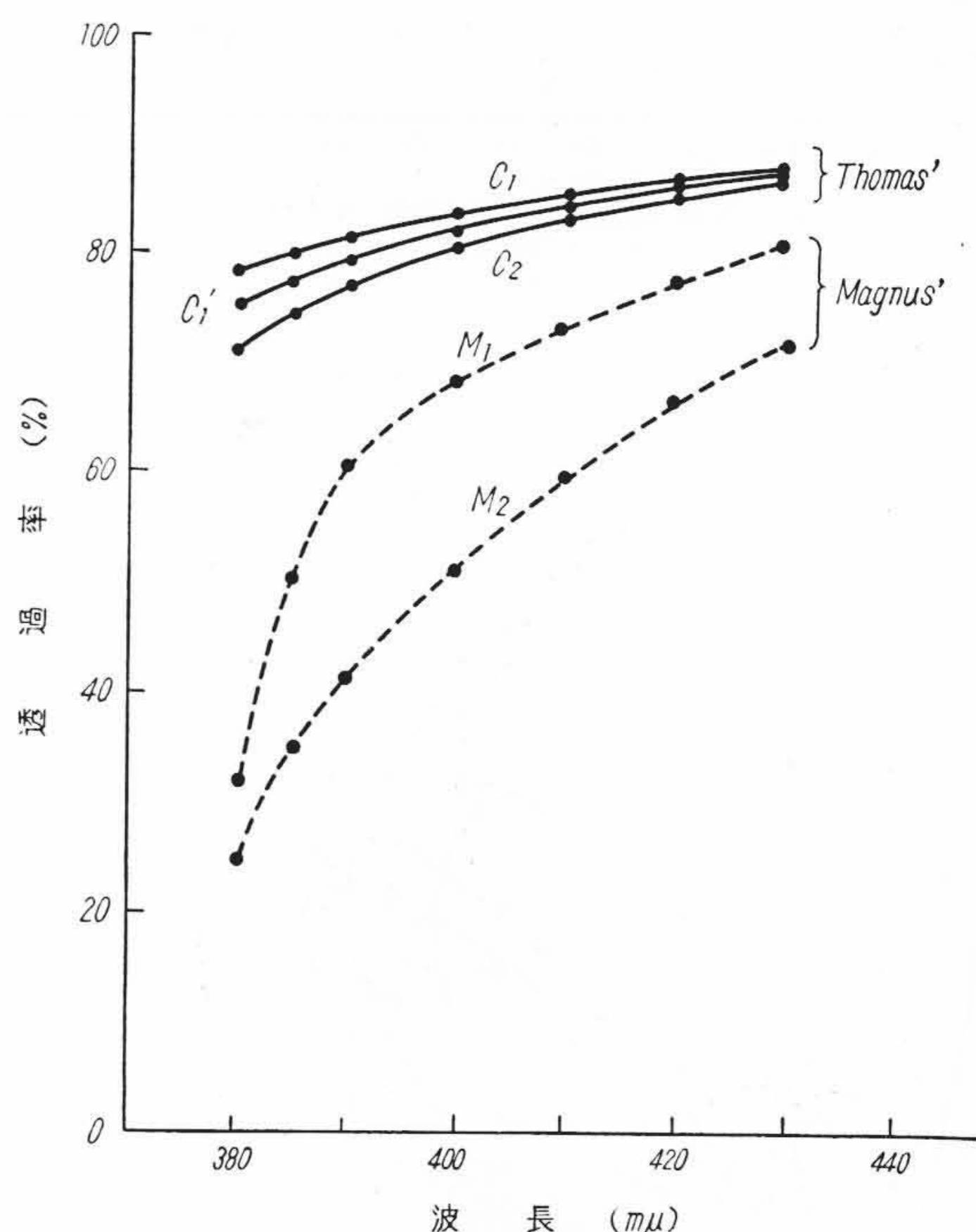
接着に使用するバルサムはあらかじめ 120°C で 15 時間くらい焼いたものを用いる。この焼く時間が短いとバルサムの固りが悪く、長すぎると紫外部での吸収が増加する。また中には紫外部での吸収が大きいバルサムもあるので、必ず透過率を測定してから使用する必要がある。

第 16 図はバルサムの種類によって紫外部の透過率の相違することを測定した一例である。カナダの Thomas 製のものは、380 mμ で透過率が 78% であるが、アメリカの Magnus 製のものでは 32% になっている。またバルサムを焼く時間によっても透過率が変化し、120°C で 15 時間まで焼いたものでは生のままと変わらないが、20 時間焼いたものでは図示するように吸収が増加している。バルサムは熟練すればおおよそ 0.02 mm の膜厚で貼ることができる。特に厚く 0.05 mm に接着したものでは、380 mμ で約 3% 吸収が増加している。

バルサムの紫外部での吸収効果を利用して、紫外線遮断用フィルタに利用できる。370 mμ の干渉フィルタでは、UV フィルタを用いて短波長側をカットするよりも、バルサム貼りのみの場合のほうが効果的である。

## 6.2 防 湿 法

カバーガラスを接着しても外周部より湿気、酸、アルカリなどの侵入によって長時間のうちに蒸着膜が侵されることがあるので、これを防止するために周辺部もバルサムでぬりかためて保護し、第 1



C<sub>1</sub>, C<sub>1</sub>', M<sub>1</sub>: 120°C で 15 時間焼いたもの  
C<sub>2</sub>, M<sub>2</sub>: 120°C で 20 時間焼いたもの  
膜厚: C<sub>1</sub>': 0.05 mm  
その他 0.02 mm

第 16 図 バルサムの種類、厚さ、焼時間と紫外透過率の関係

第 7 表 防湿保護材料の試験結果

| 保 護 材 料     | 密 着 性 | 耐 熱 性 | 耐 湿 性 | 水浸試験 |
|-------------|-------|-------|-------|------|
| フ ラ ン 樹 脂   | ×     | ○     | ○     | ×    |
| ア ラ ル ダ イ ト | ×     | ○     | ×     | ×    |
| セ ル ロ イ ド   | ×     | ○     | ×     | ×    |
| ラ ッ カ ー     | ×     | ○     | ×     | ×    |
| 白 蠟         | ○     | ×     | ○     | ○    |
| 低 純 度 密 蝟   | ○     | ×     | ○     | ○    |
| 高 純 度 密 蝟   | ○     | △     | ○     | ○    |
| バ ル サ ム     | ○     | ○     | ○     | ○    |

○ 良 好, △ やや良好, × 不 良

図に示すように仕上げる。また蒸着膜は生地ガラス全面にわたって蒸着せずに、周辺部を 1~2 mm 程度残しておくほうが耐久性がよい。

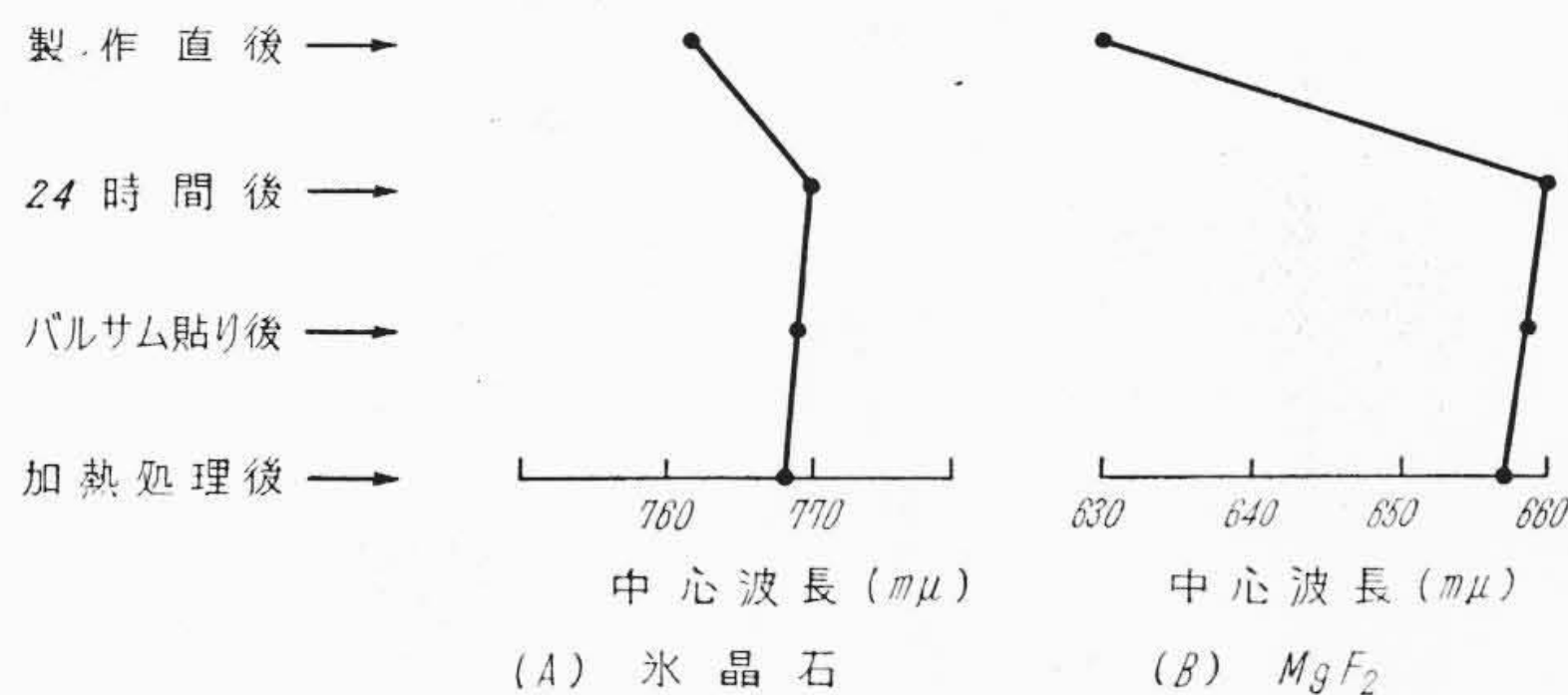
外周部の防湿保護材料としては、耐湿性のほかにガラスとの密着性、耐熱性も必要である。フラン樹脂、アラルダイト、セルロイド、ラッカー、白蠟、低純度密蝟、高純度密蝟、バルサムなどについてそれぞれの試験を行って、第 7 表に示すような結果が得られた。

各試験方法は、耐熱性は恒温槽中 60°C で 2 時間加熱し、耐湿性は 100% の飽和蒸気 of ガラスデシケータ中常温で約 48 時間試験した。密着性は刃物でけずり落して剥離ぐあいより判断し、水浸試験は蒸溜水中に約 60 時間浸して試験した。

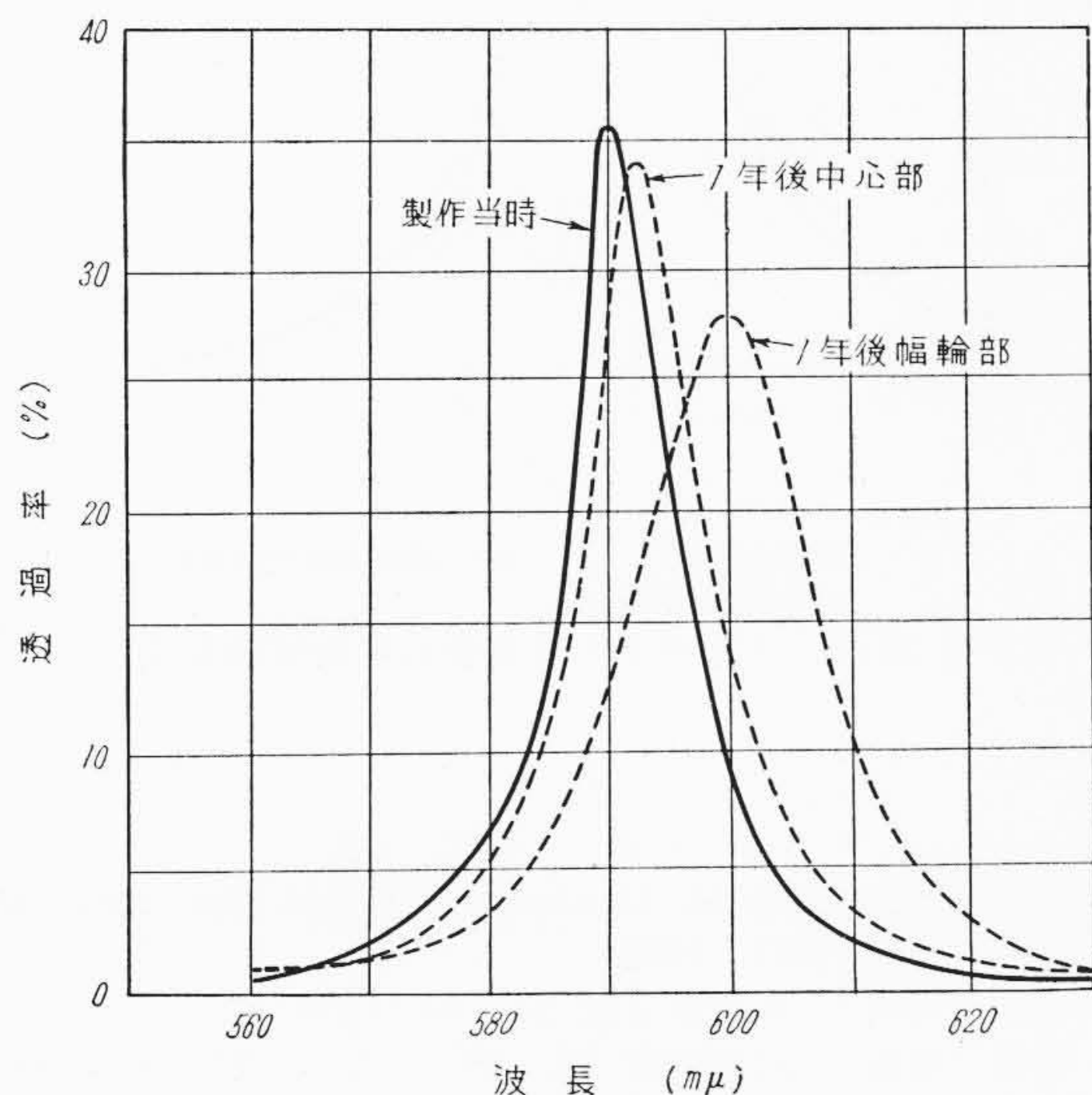
以上の各試験結果より、ラッカー、樹脂系およびセルロイドはガラスとの付着力が乏しく、温度差による伸縮も大きいのではがれやすい。白蠟・密蝟は融点が低く、軟いのできずやはがれを生じやすい。高純度密蝟は耐湿性・撥水性・密着性ともに良好であるが、軟いのが欠点である。バルサムはガラスとの密着性は非常によく、強度もあり、撥水性、耐湿性、耐熱性ともに良好で、供試材料中最も成績がよく、作業もバルサム貼りと同時に進めて簡単便利であるから、防湿保護材料としては最適のものである。

## 6.3 安定処理と波長ずれ

干渉フィルタは製作直後空気中に出すと時間の経過とともに色むらを生じるが、24 時間くらい経過すると全面一様な透明色になり安



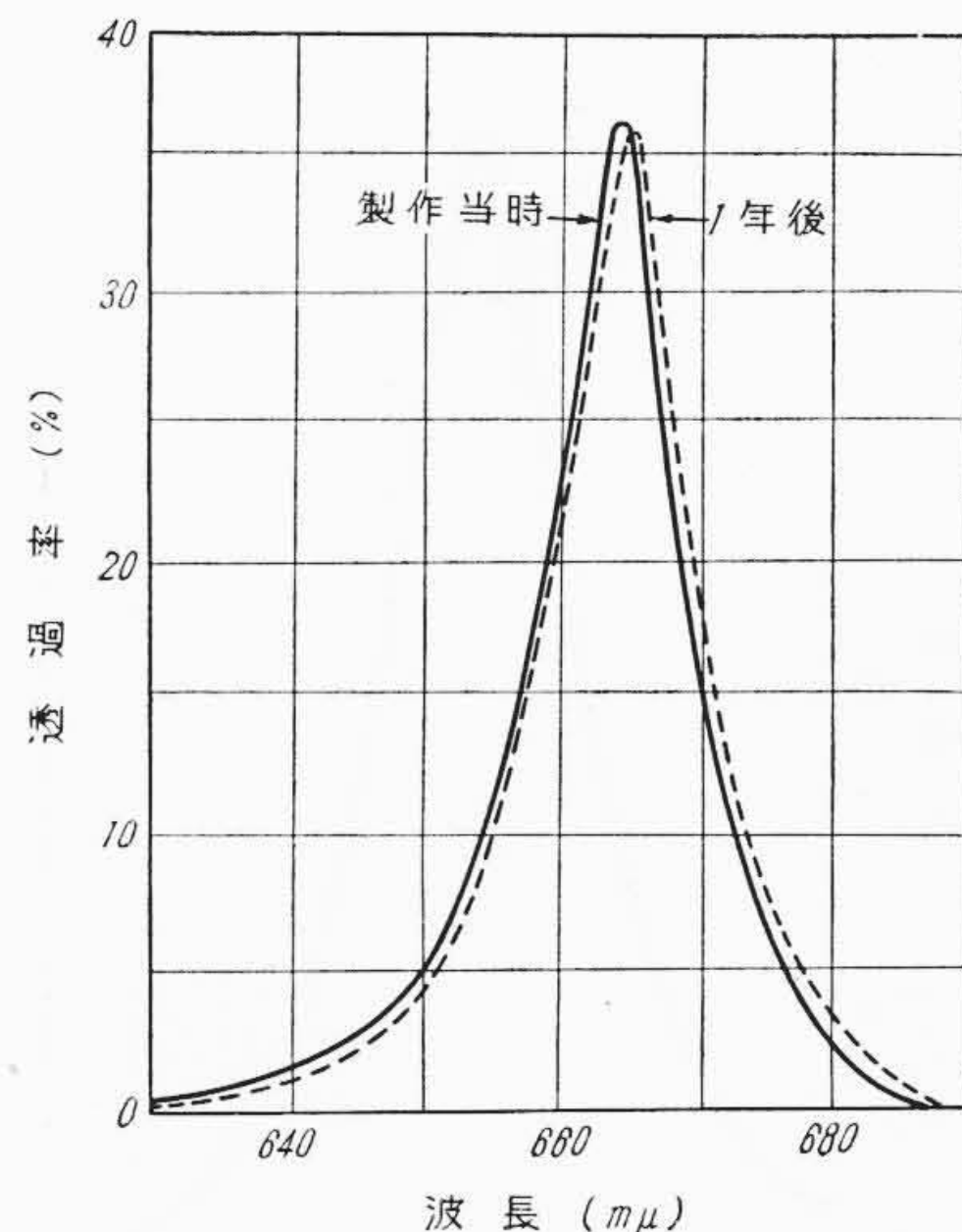
第 17 図 干渉フィルタ製作後の中心波長の移動量



第 18 図 氷晶石を用いた干渉フィルタの経年変化の測定

定する。これは蒸着膜の agglomeration<sup>(8)</sup>によるもので、フィルタの中心波長は長波長側へ移動する。この移動量は  $MgF_2$  の場合は、 $430\text{ m}\mu$  のフィルタで約  $15\text{ m}\mu$ 、 $750\text{ m}\mu$  のもので約  $30\text{ m}\mu$  であり、氷晶石の場合は  $3\sim 6\text{ m}\mu$  程度で  $MgF_2$  の場合より少ない。次にバルサム貼りをすると中心波長は  $MgF_2$  で  $2\text{ m}\mu$ 、氷晶石で  $1\text{ m}\mu$  程度短波長側へ移動する。さらに  $80^\circ\text{C}$  で 20 時間加熱処理すると、同程度短波長側へ移動する。第 17 図はこの処理と中心波長の移動量の関係を例示するものである。その後は長期間にわたって安定し、中心波長の移動は認められない。ただし氷晶石の場合は数経過後から外周部より幅輪を生じ、色むらが認められるようになる。第 18 図は幅輪の生じた氷晶石フィルタの分光透過率の測定例で、幅輪部では中心波長が約  $10\text{ m}\mu$  長波長側へ移動するとともに、波長幅も広がって特性が劣化している。これは外周より湿気の侵入によって氷晶石の蒸着膜が変化したためと想像される。バルサムの保護法は防湿効果が相当がんじょうであるが、氷晶石の蒸着膜が湿気に対して弱いものと思われる。 $MgF_2$  の場合はこのような幅輪を生じることがなく、第 19 図に示すように一年経過しても特性にほとんど変化が認められなかった。干渉フィルタの中間層には、 $MgF_2$  のような強じんな蒸着膜を使用すべきで、氷晶石などのように弱い膜では長期間の使用には耐えないことがわかった。

次に第 20 図は加熱処理の効果をしらべたもので、(A) は全然加熱処理しない

第 19 図  $MgF_2$  を用いた干渉フィルタの経年変化の測定

もの、(B) は  $80^\circ\text{C}$  で 6 時間、(C) は 24 時間加熱したもので、それぞれ光電光度計の光源電球 (10 V, 50 W) で 90 時間照射し、その前後における分光透過率特性の変化を調べたものである。このような短時間の照射に対しても、加熱処理していないものは最大透過率が 4% 増大し、中心波長が  $1\text{ m}\mu$  短波長側へ移動しているが、24 時間処理したものはほとんど変化がなく、加熱処理が膜の安定に有効なことを示している。

## 7. 干渉フィルタの実用試験

上記のようにして製作し保護処理を施したフィルタが、長期間の使用に耐えうるかどうかを調べるため、各種の試験を行った。

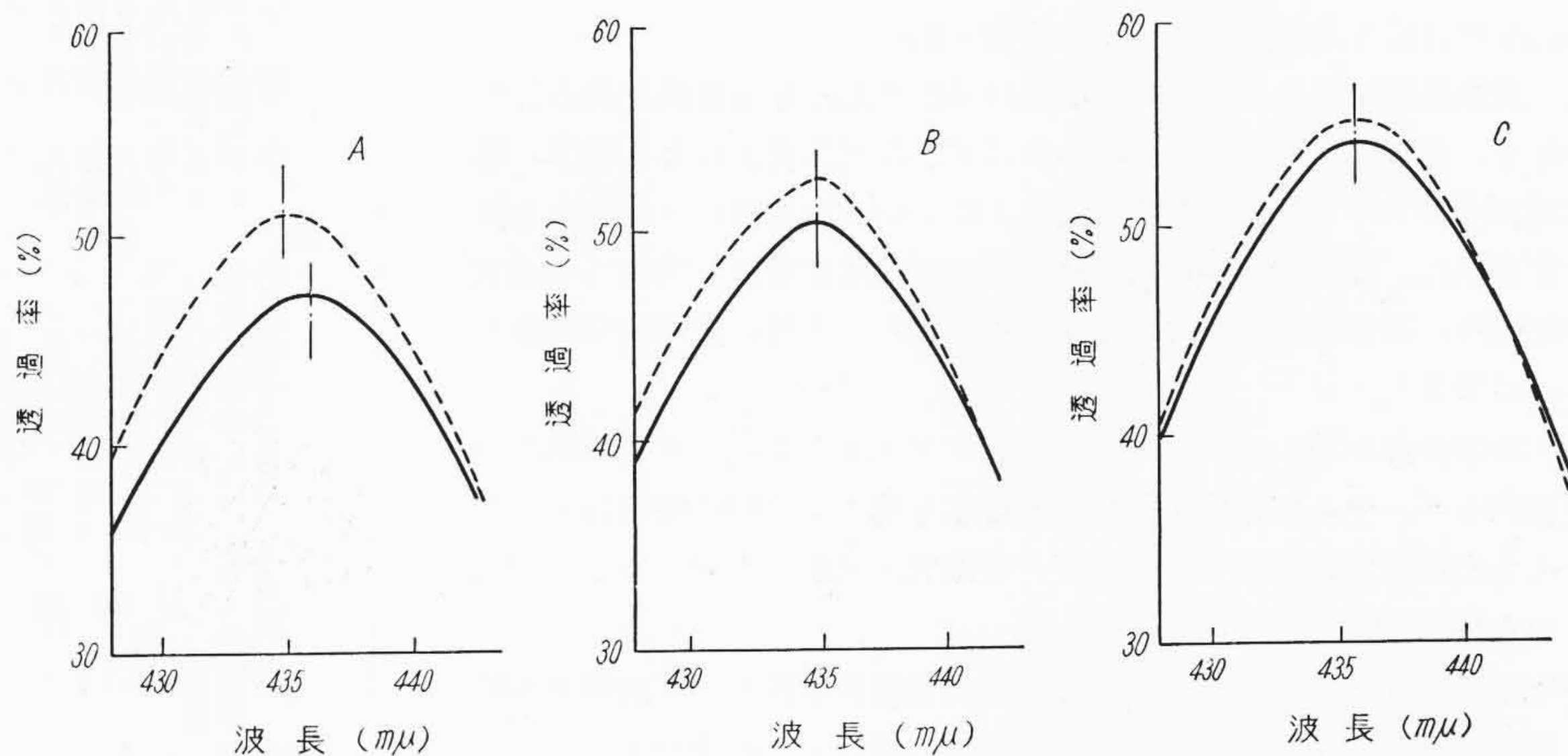
### 7.1 温度変化の影響

干渉フィルタを光電光度計などにとりつけ長時間使用するとき、光源の熱エネルギーでフィルタの温度が上昇し、10 V 50 W の電球 12 時間程度の照射では約  $50^\circ\text{C}$  上昇する。また外気温の影響で特性が変化するようでは実用上不便であるから、これらの温度変化と特性の関係をしらべた。分光光度計の試料室にフィルタを入れ、その温度を  $10^\circ\text{C}$  から  $60^\circ\text{C}$  に上昇させて分光透過率を測定した。

第 21 図はその結果を示すもので、 $50^\circ\text{C}$  の温度変化では特性になんら影響がなかった。

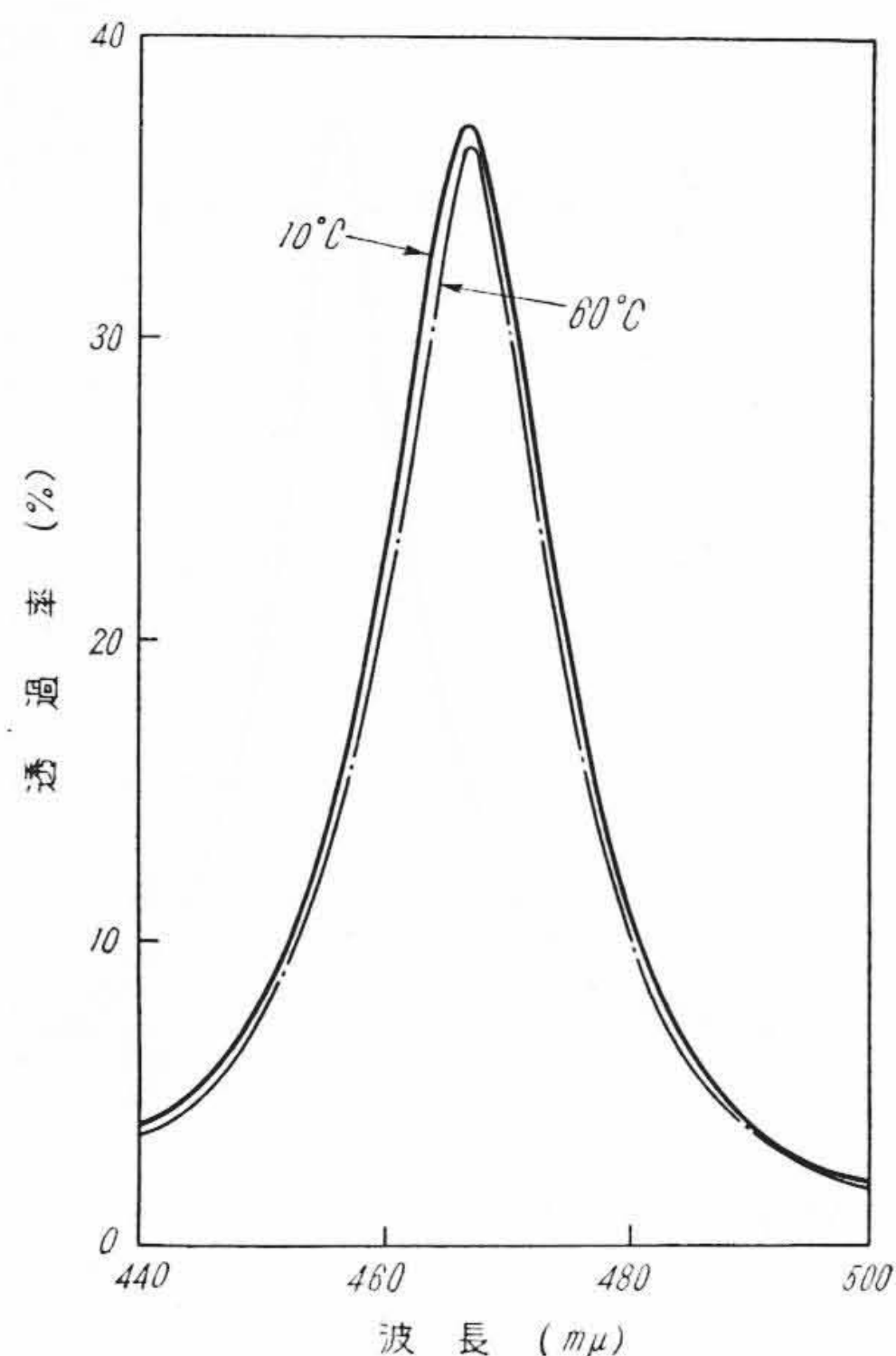
### 7.2 照射試験

干渉フィルタを光電光度計の光源ランプで使用状態のまま 1 日 8

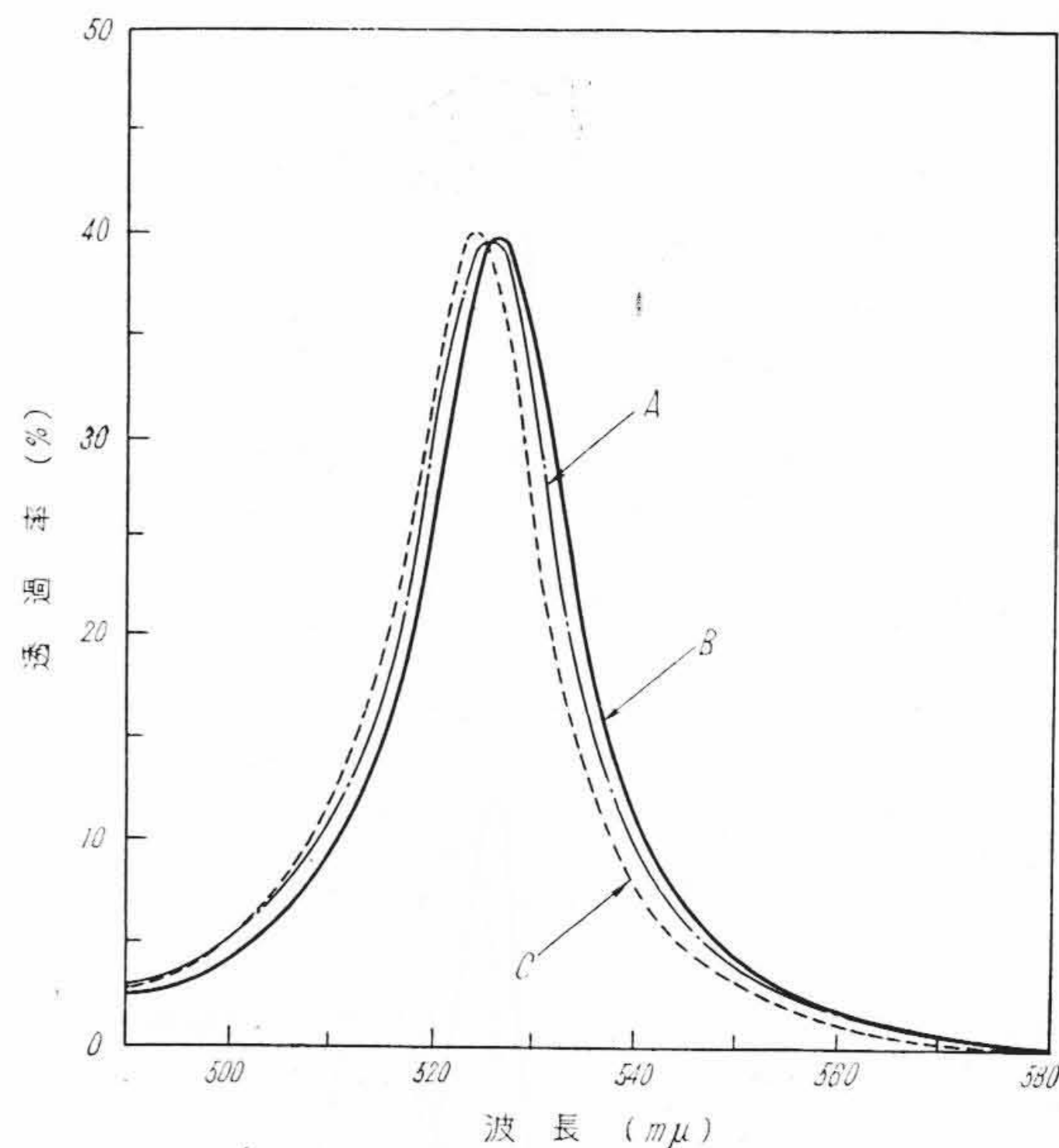


A: 加熱処理しないもの      B: 加熱処理 6 時間のもの      C: 加熱処理 24 時間のもの  
—— 照射前の測定      - - - - - 90 時間照射後の測定

第 20 図 加熱処理の効果



第 21 図 干渉フィルタ特性の温度変化の影響

A: 照射前測定 B: 100時間照射後測定  
C: 240時間照射後測定

第 22 図 干渉フィルタ特性の照射試験結果

時間連続照射し、これを繰返して合計 240 時間照射後その特性の変化をしらべた。第 22 図は照射前、100 時間、240 時間照射後その分光透過特性を測定したものでほとんど変化はなかった。外観上もほとんど変化ないので長期間の実用に耐えうることを確認した。

### 7.3 耐熱・耐湿・耐薬品試験

6.2 の防湿法の項で各種保護材料について上記各試験を行った結果、バルサム保護を施したものが最も成績が良く、これらの各試験に耐え特性になんら影響を及ぼさないことがわかった。

### 7.4 経年変化と寿命試験

6.3 の安定処理と波長ずれの項でのべたように、 $\text{MgF}_2$  を用いて作った干渉フィルタは 1 年経過しても特性になんら変化が認められなかった。現在干渉フィルタを製産してすでに 6 年になり、その製品は各方面で広く実用されているが、数年使用したのものでも特性に変化なく十分活用されているので、このようにして製作された干渉フィルタは長期間の使用に耐えうるものである。

## 8. 結 言

干渉フィルタの諸問題について種々の検討を行い、特性がよく耐久性の良好な単色光用フィルタを作った。

真空蒸発法によって  $\text{Ag} + \text{MgF}_2 + \text{Ag}$  または非金属膜を蒸着して作り、その製作に便利な装置を作って、真空蒸発法による製法、蒸発源やフィルタ生地板の洗浄法などについても検討し、最適な方法を求めた。蒸着中の膜厚制御は、銀の場合は光電池を用いて透過率を測り、非金属膜の場合は鋭敏色を測定して所望の膜厚につけることができた。

短波長側を鋭くカットする色ガラスフィルタをバルサムで貼り、周囲もバルサムで保護し加熱安定処理を施して、特性を改良するとともに長期間にわたって安定で、各種実用試験にも耐えうるフィルタを作った。

また金属膜干渉フィルタのほかに、透明多層膜および金属透明膜併用の干渉フィルタを作り、それぞれの特性を比較検討するとともに、明るく波長幅の非常にせまい単色光フィルタを作った。

終りに臨み本研究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) L. N. Hadley, D. M. Dennison: J. Opt. Soc. Am. 37, 451 (1947); 38, 483 (1948)
- (2) 吉永, 岩崎: 照明学会誌 34, 20 (1950)
- (3) 吉永, 岩崎: 応用物理 20, 180 (1951); 21, 66 (1952)
- (4) 岩崎: 応用物理 27, 614 (1958)
- (5) J. Strong: Procedures in Experimental Physics, Prentice Hall (1938)
- (6) O. Olsen, E. C. Crittenden: J. Appl. Phys. 16, 425 (1945)
- (7) H. Levinstein: J. Appl. Phys. 20, 306 (1949)
- (8) R. S. Sennett, G. D. Scott: J. Opt. Soc. Am. 40, 203 (1950)
- (9) 黒羽: 日立評論 39, 39 (1957)
- (10) 岩崎, 小沼: 応用物理 28, 568 (1959)
- (11) H. Kubota, T. Ara: J. Opt. Soc. Am. 41, 16; 537 (1951)
- (12) 岩崎: 日立評論 42, No. 3 (1960) 印刷中

## 日 立 評 論 Vol. 42 No. 3 目 次

### 火力発電機器小特集

- ◎東北電力株式会社仙台火力発電所納 175,000 kW 再熱タービン
- ◎東北電力株式会社仙台火力発電所納 224,000 kVA 水素冷却タービン発電機
- ◎東北電力株式会社仙台火力発電所納 175 MW プラントについて
- ◎東北電力株式会社仙台火力発電所納 590 t/h ボイラについて
- ◎東北電力株式会社仙台火力発電所納高圧補機用メタルクラッド配電盤

### 論 文

- ◎油圧式自動車用エレベーター
- ◎交流エレベーター用 DF 形接触器
- ◎均一蒸着膜と干渉フィルタの応用
- ◎低圧式空気分離装置用高速ターボ圧縮機
- ◎横浜市交通局納トロリーバス用電気品
- ◎C40-C50 号形交換機
- ◎日立製作所における水中音響測定用水槽
- ◎複導体送電線の捻回に関する理論的考察
- ◎新ケーブル鉛被用鉛合金の諸特性
- ◎大形鍛鋼品の脱水素処理について
- ◎鋳鋼における冷し金の効果
- ◎高 C<sub>1</sub> 高 Cr ダイスイ鋼の性質に及ぼす W<sub>1</sub>M<sub>6</sub> および V の影響

### 技術者ノート

- ◎日立空気遮断器の保守点検

発行所 日立評論社  
取次店 株式会社オーム社書店