

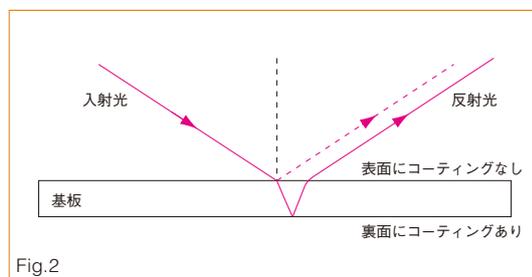
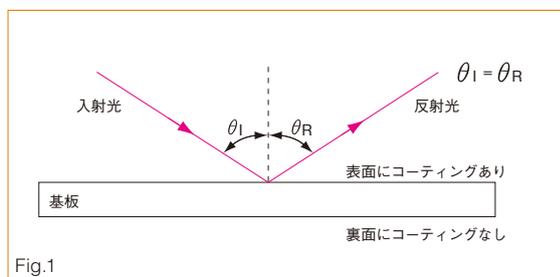


光学用ミラーとは

表面鏡と裏面鏡

一般に光学用に用いられるミラー製品の殆どは、高い反射特性を有する金属膜、あるいは誘電体多層膜(以下、増反射膜)を基板(ガラス、あるいは金属)の表面に蒸着した表面鏡(First Surface Mirror)のデザインを採用しています。(Fig.1参照)。日常生活に普段用いられている裏面鏡(Second Surface Mirror, Fig.2参照)は、表面鏡とは異なり、基板に蒸着した増反射膜(一般に銀コート)の上に更に保護用のプレートガラスやプラスチックでカバーしています。これにより銀膜に誤って傷をつけてしまうことを防止し、また酸化しやすい性質を持つ銀膜が空気中にさらされることを防ぎます。光学用に用いられる表面鏡の場合、増反射膜が表面に露出していることから、誤って傷をつけてしまうことも多く、取り扱いには十分な注意が必要です。なお光学用のミラーに裏面鏡が用いられない主な理由は、以下の通りです。

- 斜入射時に、入射光が保護用のプレートガラスによって屈折するため、増反射膜による反射光の光路がシフトしてしまう。(Fig.2中の赤色実線)
- 増反射膜面での反射以外に、保護用のプレートガラスと空気の媒質境界面において4%程度の表面反射(フレネル反射:Fresnel Reflection)が生じる(Fig.2中の赤色破線)。このフレネル反射により、反射光(像)が二重に写ってしまう不都合が生じる。
- 前述のフレネル反射により、増反射膜での反射効率が低くなる。



ミラー用金属膜コーティング(Metallic Coating)

当社では市場での多様なニーズにお応えするために、使用波長に合わせた複数のミラー用金属膜を標準コーティングとしてご用意しています。

保護膜の必要性

一般に金属膜は、機械強度の低い、非常にデリケートなコーティングです。よって誘電体などの保護膜を金属膜の上に施すことは、そのハンドリング性を高めるだけでなく、クリーニングも容易にします。また金属膜自体の酸化を防ぎ、耐久性を向上させることから最近では必要不可欠なものになっています。本カタログで紹介する金属膜を採用した光学用ミラー製品には、全てこの保護膜が施されています。ミラー表面がひどく汚れている場合にはイソプロピルアルコールかアセトン液による手拭き洗浄が可能です。

金属膜のクリーニング

金属膜をクリーニングする際は、以下の手順をご参考ください。

- エアクリーナー等で金属膜表面に付着したチリやホコリを飛ばす。
- 基本的に洗浄液を用いた手拭き作業は、金属膜表面に指紋が付着した時か、汚れのひどい時のみに限定して行ってください。
- 洗浄液にはイソプロピルアルコールかアセトン液の有機溶剤を用います。少量の溶剤を含ませたレンズペーパーで、金属膜表面に付着した汚れをゆっくりと、かつソフトに拭き取ります。
- 洗浄液の拭き取り残しや拭き取りむらのないようご注意ください。

なおミラーに代表される光学部品は、多湿な環境を非常に嫌います。多湿な環境に放置したままにしておくと、直ぐにカビが発生します。やむを得ない理由により、多湿な環境で保管する場合は、シリカゲル®等の乾燥剤を必ずご使用ください。



単レンズ

アロマイシン
レンズ

非球面
レンズ

ボール
レンズ

シンドリカル
レンズ

フッ素
レンズ

ビーム
エキスパンダ

光を用
ミラー

プリズム
スリット

光学
フィルター

偏光素子

波長板

ND
フィルター

フイルム
フィルター

その他
光学部品



標準の金属膜コーティング

1. コートなし(Uncoated)

金属膜も保護膜もされていないガラス基板(鏡面仕上げ)です。特殊なミラーコーティングを必要とする際の基板として最適です。

2. アルミコート(Protected Aluminum)

可視～近赤外の波長で使用される最も標準的な金属膜です。1/2波長膜の一酸化シリコン(SiO)が保護膜として施されます。平均反射率は0.4-0.7μmにおいて85%以上。

3. 反射強化アルミコート(Enhanced Aluminum)

アルミの金属膜を適当な誘電体多層膜で保護することにより、0.45-0.65μmの可視光における平均反射率を95%以上に改善します。アルミコートに比べて価格は高くなりますが、可視域でより高い反射率が必要な場合はこちらをお勧めします。

4. UV 反射強化アルミコート(UV Enhanced Aluminum)

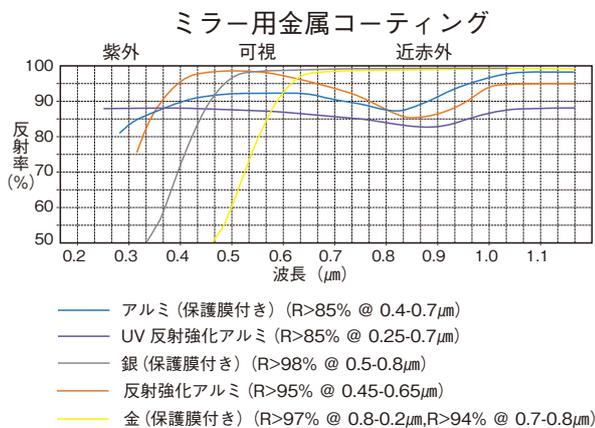
アルミの金属膜を適当な誘電体多層膜で保護することにより、紫外域での反射率をより高めます。0.25-0.7μmにおいて85%以上の平均反射率が得られます。

5. 金コート(Protected Gold)

近赤外～赤外において高反射率を望む場合、金コートは非常に効果的です。0.7-0.8μmにおいて94%以上、また0.8-2μmにおいては97%以上の平均反射率が得られます。保護膜にはアルミコート同様、一酸化シリコン(SiO)が用いられます。

6. 銀コート(Protected Silver)

可視～赤外において高反射率を望む場合、銀コートは非常に効果的です。500-800nmにわたり98%以上の反射率が得られます。保護膜の加工により、曇りやすい銀の性質を緩和することができますが、低温環境下での使用を推奨します。



スパッタ法によるコーティング

従来、コーティングには、真空蒸着法を用いてきましたが、情報通信機器分野、ディスプレイ分野、民生用光学機器分野等への普及に伴い、求められる光学フィルタが多種多用途かつ高品質なものへと移行しています。真空蒸着法による薄膜は、特に誘電体薄膜では粗くなりやすく、使用環境、経時変化によっては水分吸着などが発生し、光学特性に問題をきたす場合があります。

そこで近年では、プラズマやイオンビームによるアシスト機構を加え、薄膜の緻密性、耐環境性を向上させた真空蒸着法であるIAD法、IP法等が主に使われています。一方、ディスプレイ、半導体分野での薄膜コーティングには、スパッタ法が主に使用されています。

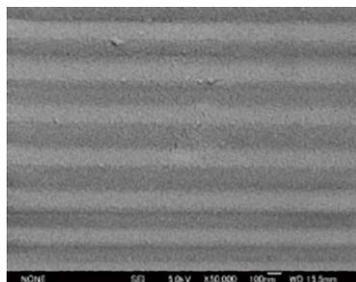
スパッタ法とは高いエネルギーを持ったイオンを成膜材料(ターゲット)に衝突させ、飛び出した原子・分子を基板上に薄膜化させる方法です。この時の原子・分子のエネルギーは真空蒸着法のおよそ100倍とも言われ、膜質が優れていることは勿論、大面積基板へのコーティングが可能で、生産性にも秀でています。しかし、誘電体多層膜の成膜速度が非常に遅く、また、異常放電によるパーティクルの発生などの短所もあり、光学フィルタにはあまり利用されませんでした。

今回、ご紹介する光学フィルタ製品には、このスパッタ法を応用した"デジタルスパッタ法"でコーティングしている物もあります。デジタルスパッタ法は、始めに原子層レベルの金属薄膜を形成させ、その後、酸素プラズマによりこの金属膜を酸化させて誘電体薄膜とする方式です。これにより、スパッタ薄膜の優位点である膜の緻密性、平滑性、耐環境性、アモルファス性を保持したまま成膜速度の向上が可能となり、品質と大型基板への成膜生産性を兼ね備えた光学フィルタをご提供することができます。

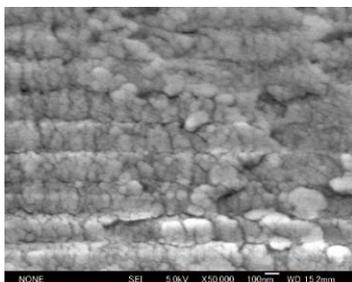


■ スパッタ法による誘電体多層膜光学フィルタの特長

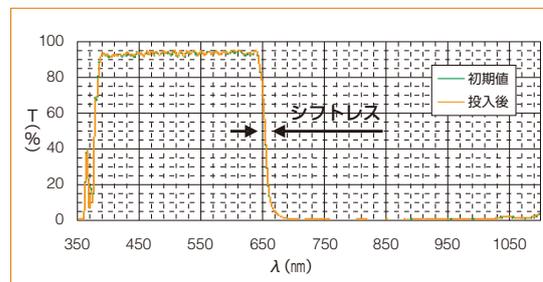
1. 基本的に光損失がない(高反射率、高透過率)
2. 金属膜よりも機械強度が高く、環境耐性もあり丈夫
3. 基板と膜の密着性が高く膜が緻密にできることから、平滑性が良好、温度変化などの環境特性に優れる



スパッタ法 光学フィルタ断面像



真空蒸着法 光学フィルタ断面像



温度サイクル(-40↔80℃、300回)での光学特性変化

■ 基板の面精度による性能の違い

レーザーの可干渉性(Coherency)を利用した干渉実験や、遥か遠く彼方にある星の観察を目的とした天文用に使用される高精度研磨仕上げのミラーは、反射用コーティングが施される前の基板自体の面精度が総じて高く、一般的には1/8-1/10 λ以下の面精度を持った製品が殆どです。ミラーの場合、ミラーにより反射された光の波面は、反射面における基板の面精度に依存します。この場合、光路が反射面に当たって再び戻ることから(垂直入射の場合)、反射波面の大きさは面精度の実質2倍の大きさになります。一例として1/10 λの面精度を持つミラー製品の場合、その反射波面は1/5 λになります。このようにして考えると、無収差とみなせる1/4 λ以下の波面収差(レイリーリミット)が得られる基板面精度は、1/8 λ以下のミラー製品に限定されることになります。

高精度研磨仕上げのミラーとは対照的に、ソーダ石灰ガラス(青板ガラス)を用いたフロートガラス基板採用のミラー(面精度4-6 λ/25.4mmレベル)は、画像情報(多色光)の反射用ミラーとして広く用いられます。フロート法により製造されるため、安価で、比較的大きなサイズの基板も製作が可能です。また高精度研磨仕上げとフロートガラス基板のミラーの中間的位置に属する標準的研磨仕上げのミラー(面精度1/4-1 λレベル)はBK7などの光学ガラスを用いた研磨ガラスを基板に採用しています。前述の2種類のミラーの中間的性質(性能)を有し、フロートガラス基板採用のミラーでは実用上不十分な場合は、こちらの面精度のタイプが次の選択肢となります。またコストパフォーマンスにも優れます。アプリケーションやご予算に応じてお選びください。

■ 基板の材料による性能の違い

高精度ミラーに求められるもう一つの重要なファクターに、基板の熱膨張特性があります。周辺温度の変化が激しい場所に使用する場合、熱膨張による反射波面の位相変化量(位相シフト量)を極力抑えるためには、熱膨張係数の低い基板を用いることが特に重要です。ミラーの基板に用いられる代表的な光学ガラスであるN-BK7の場合、熱膨張係数は $7.1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ になりますが、パイレックス® の場合は $3.2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ とBK7の半分以下になります。合成石英の場合は更に低く、 $0.55 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ とパイレックス® の約1/6になります。ゼロデュア® は更にその上をいき、 $0.05 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ と合成石英の1/10以下になります。

熱膨張係数の違いによる位相変化の一例として、パイレックス® と合成石英を比べてみます。基板の板厚が10mmの合成石英の場合、熱膨張係数が前述の $0.55 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ であることから、実質5.5nm/℃の熱膨張があることとなります。仮に10℃の温度上昇があったとすると、55nm分(=1/10 λ(@550nm))の膨張があります。ミラーの場合は、光路が反射面に当たって再び戻るため(垂直入射の場合)、実際には熱膨張量の2倍の位相シフト量が発生し、1/5 λ分の位相シフトが生じることとなります。これに対しパイレックス® の場合は、同じ考え方により、結果として1 λ以上の位相シフトが発生します。このように、熱膨張係数の極めて低い合成石英やゼロデュア® 基板を用いたミラーの使用は、航空宇宙学や精密な可干渉実験を求める用途には非常に重要となります。

■ 特性比較

		テンパックスフロート	B270 スーパーホワイト	N-BK7
光学特性	屈折率(n_d)	1.472	1.523	1.5168
	アッペ数($V_d=(n_d-1)/(n_f-n_c)$)	66.1	58.5	64.2
機械特性	密度(g/cm^3)	2.2	2.55	2.51
	ヤング率(kN/mm^2)	63	71.5	81.5
	ポアソン比	0.2	0.219	0.206
	ヌーブ硬度	480	542	610
温度特性	熱膨張係数(20~300℃範囲)(/K)	3.25×10^{-6}	9.4×10^{-6}	8.3×10^{-6}
	比熱(J/g·K)	0.8	0.77	0.86

