高効率反射鏡

Lighting Reflector with High Reflectance.

1968年1月生，東洋大学工学部電気工学専攻修了。
現在，松下電工照明開発研究所主任研究員。

山田 真
Makoto Yamada

◀キーワード：真空蒸着，薄膜，投光器，反射鏡，省エネ

1. はじめに

近年，照明器具においても，省エネ，快適性が要望されている。このニーズにこたえるために，器具の高効率化を図ることが重要な課題である。

高効率化の手段としては，電子式安定器（インバータバラスト）の使用や光源の発光効率の向上ならびに，高効率反射鏡の開発が重要である。

本報では，蒸着処理技術を用いた高効率反射鏡の開発について，原理，工法および応用例を紹介する。

2. 蒸着膜による反射鏡形成

2.1 蒸着技術

真空蒸着法に代表される蒸着技術は，照明器具において幅広く実用化されている。蒸着技術はその成膜メカニズムによりいくつかの工法に分類される（図1）。

PVD（Physical Vapor Deposition）法の代表的なものとしては，真空蒸着，イオンプレーティング，スパッタリング法等がある。

真空蒸着法は，蒸発源の加熱方式の違いにより電子ビーム加熱蒸着法，抵抗加熱蒸着法に分類されるが，基本的には真空槽内で，材料を加熱し蒸発させて基板に凝集させる工法である。

真空蒸着膜の耐久性，密着性を向上させるねらいで蒸発源の近傍にプラズマを形成させるのがイオンプレーティング法である。この方法は，蒸発分子をイオンエネルギーにより加速し，蒸着膜の凝集密度を緻密にする。

またプラズマ中のイオンを加速させて，ターゲット材

料に衝突させて運動量交換により，基板にターゲット材の薄膜を堆積させるのがスパッタリング法である。

これらの工法により金属膜や誘電体膜を作成できる。

金属膜が光を反射させることは容易に理解されるが，透明誘電体からなる光学多層膜の干渉効果を応用することでも光を反射させることができる。

以上のような蒸着膜は，スポットライト，ダウンライト，HID投光器等の反射鏡およびルーバなどに幅広く応用されている。

またCVD（Chemical Vapor Deposition）法は，材料をガス化して真空槽内に供給し，化学反応により基板上へ薄膜を堆積する技術であり，立体形状の基板上に成膜できるのが特徴である。熱分解CVD法は，ハロゲンランプ用の赤外線反射膜として，バルブ表面に光学多層膜を形成することに応用されている。

欧米の自動車部品メーカーでは，ヘッドランプ反射鏡の保護膜の形成にプラズマCVDを応用している。

2.2 反射鏡の膜構成（図2）

反射鏡の処理構成は基板材料を成形した後，基材反射面に有機塗膜処理（アンダーコート）を行い，その上にアルミ等の金属膜を蒸着して反射膜（鏡面）を得る。

アンダーコートの目的は，基材表面を平滑にして鏡面性を得ることと，蒸着膜の密着性を得ることである。

さらに金属膜の防食のために，透明なトップコートを形成する。トップコートの処理方式としては，湿式（有機塗膜）方式と乾式（蒸着）方式の2通りの方法がある。

金属蒸着反射鏡では，スプレーコートあるいはデIPPING法により，アンダーコート，トップコートを塗装

照明器具の光源部品に利用される主な蒸着技術

■ PVD（物理蒸着）

固体材料を分子状に分解させ運動エネルギーを与え基板上に成膜

◆真空蒸着法

- ・抵抗加熱法……………金属膜など低融点材料
- ・電子ビーム法……………金属膜，誘電体膜

◆イオンプレーティング法 同上

◆スパッタリング法

- ・直流放電……………金属膜
- ・高周波放電……………誘電体膜

■ CVD（化学蒸着）

成膜源として気体成分を導入化学反応を経て分解成膜

◆熱CVD法 ……………誘電体膜

◆プラズマCVD法 ……………誘電体膜，有機膜 プラズマ重合法

図1 薄膜形成技術の分類

〔反射板工程〕

基板成形 ⇨ 脱脂, 洗浄 ⇨ アンダーコート ⇨ 金属蒸着 ⇨ トップコート

〔膜構成〕

図2 金属膜反射板の成膜工程

するが、その塗膜の成膜状態が、耐久性能に大きく影響する。

塗料はシリコン、アクリル、ウレタン、エポキシ系ほか多くの種類があり、使用用途に応じて使い分けが必要である。

特に耐候性が要求されるトップコートとしては、シリコン系やアクリル系のものを用いることが望ましい。近年は蒸着塗料メーカーより、リフレクタ用として、各種用途別にに応じた数種類の塗料が市販されている。

HID 投光器のような高ワットの水銀灯、メタルハライドランプを用いる器具の反射鏡では、紫外線が直射され、200℃以上の高温にさらされるため、有機系トップコートでは劣化する恐れがある。

そのような場合には、乾式法（蒸着）による二酸化珪素膜が用いられる場合もある。

ただし、湿式工法と比較して装置も高価であり、生産性も劣る。更に反射鏡形状により、蒸着が困難な場合もある。

3. 高効率反射鏡

高効率反射鏡を用いることは、器具効率を向上させ、トータルの省エネにつながる。

まず金属蒸着反射鏡の例として、アルミ蒸着を取り上げる。反射率（可視光波長域での反射特性）90%のアルミ膜の上に、透明保護膜を形成すると、干渉効果により87～88%程度に低下する。

そこで器具の高効率化を図るためには、より反射率の高い金属膜（銀）を蒸着するか、アルミ膜上に光学多層膜を形成して、反射率をアップさせることが考えられる。後者は、一般的に増反射ミラーと呼ばれている。

光学多層膜とは、光の干渉効果を応用して波長選択機能をもたせるものである。光は媒質としての物質中を通過する際に、異なる物質との界面で、フレネル則に基づき反射光と屈折光に分かれる。光の波長オーダーの膜厚にて形成される多層膜では、各界面からの反射光成分において位相の違いにより、波が強めあったり、弱めあ

図3 電磁波としての光の干渉効果

反射光は光学膜厚によって決まり、位相差によって強めあったり弱めあったりする。

たりする。位相は各層の光学膜厚によって決定される（図3）。

このように膜厚を制御することで、反射光の振幅を極大化させるように構成された光学多層膜を、増反射処理と呼ぶ。

単層保護膜では平均して12%程度アルミ膜にて吸収されるが、増反射処理では干渉効果により、吸収を2～4%以内に抑えることができる（図4）。

アルミ蒸着膜上への単層保護膜と増反射保護膜の反射スペクトルを図5に示す。

図中には、水銀灯光源の発光スペクトルをあわせて示したが、増反射保護膜は効率良く光を反射していることがわかる。

3.1 銀蒸着反射鏡

銀の反射率は98%であり、保護膜を形成しても干渉ロスが少ない。したがって銀を反射膜に利用することにより、きわめて効率的な反射鏡が得られる。

銀は耐久性能（耐食性、耐紫外線性能など）を確保するのが難しく、従来、反射膜として利用するのが困難と言われていた。

しかし、近年、防食性能に優れる塗料の開発により実

図4 増反射膜と単相膜

増反射膜では位相制御の効果により入射光の振幅をほとんど損なうことなく反射させることができる。

図6 銀蒸着ダウンライトの断面 SEM 写真

れるシリコンアクリル系塗料を選定した。

銀は可視域全域において98%以上の反射率があり、反射鏡内において多重反射してもロスが少ない。

したがって、白熱灯またはコンパクト型蛍光灯ダウンライトにおいて、深型形状の反射鏡に用いた場合、従来のアルマイト処理およびアルミ蒸着処理反射鏡と比べ、大幅な器具効率アップが得られた⁽¹⁾。

断面構成の顕微鏡写真を図6に示す。

3.2 増反射処理反射鏡

増反射処理は、平板に近い形状をもつ光学反射部品(複写機用リフレクターなど)で以前より使用されていたが、今回、パラボラ形状(600φ×H300)の投光器用反射鏡への処理を検討した。

投光器反射鏡において増反射処理により高効率化を実現するためには、使用する光源の発光スペクトル、標準視感効率を考慮した上で、膜構成や光学膜厚を決定する必要がある。

この理由は、光が斜め入射することにより光学薄膜の干渉作用が変化して、反射スペクトルを垂直入射時よりも短波長側にシフトさせる特性があるためである。

またアルミ膜上の光学多層膜の積層数を増すと、反射率はアップするが、高反射波長域が狭まり、光源の発光スペクトルによっては、逆に器具効率を低下させてしまうためである。

アルミ膜上の光学多層膜の積層数による可視域での反射特性の変化を図7に示す。

積層数が増すに連れて反射波長域が、狭まっていくことがわかる。器具効率および生産性から4層構成が最適であることがわかった⁽²⁾。

上記の投光器反射鏡形状の場合は、反射鏡の任意の位置での光源からの入射光角度と光源の発光スペクトルを考慮して、蒸着膜厚を変化させなければならない。

具体的には、蒸着時にマスク(補正板)を用いて、反

図5 増反射膜の反射率特性

用化が可能となった。

銀膜の利用に際しては、膜密着力を維持しつつ、耐食、耐熱性を両立させることが重要な技術課題である。

アンダーコートには真空中での発生ガスが少なく、平滑性が得られ、銀膜との密着性および耐熱性を満足するエポキシ系塗料を選定した。

銀膜の形成方法としては、真空蒸着、イオンプレーティング、スパッタリング等があるが、今回は銀膜の密着力が十分に得られるスパッタリング法を採用した。

トップコートには銀膜を亜硫酸、アンモニアガス等の腐食から守り、なおかつ、耐熱性、耐候性、耐湿性に優

図7 積層数による反射特性変化

図8 増反射処理屋外投光器

射鏡内での膜厚分布を制御する。

光学多層保護膜の成膜材料としては、低屈折率物質として (SiO_2 , MgF_2 等), 高屈折材料として (TiO_2 , Ta_2O_5 等)を用いるが, 酸化物の蒸着では, 成膜条件による屈折率の変化が激しいことから, 屈折率の安定した薄膜を得るために基板加熱, 酸素導入, 高周波プラズマ (イオンプレーティング) 等の手法を活用する。

当社においては, 増反射処理を施した照明器具として, 図8のような球技場向け屋外投光器, あるいは図9のような OA ルーバが発売されている。

増反射処理の照明器具への採用により, 従来のアルミ蒸着反射鏡の器具に対して, 約15%の効率アップが達成できた⁽³⁾。

図9 増反射処理ルーバ器具

4. まとめ

高効率反射鏡として, 銀蒸着反射鏡および増反射処理反射鏡について述べてきた。

銀蒸着反射鏡の特徴を列举すると,

- 1) 処理基板形状の制約が少ない。
- 2) コンパクト型蛍光灯, 低ワットの白熱電球に使用できる。
- 3) ランプ光の繰り返し反射が多い反射鏡に処理した場合, 大幅な器具効率アップができる。
- 4) 耐食性の面から屋外および特殊環境への使用は難しい。

増反射処理反射鏡は,

- 1) 耐久性, 耐熱性に優れ, 屋外用途にも対応は可能である。
- 2) 反射鏡形状により, 成膜できない場合がある。
- 3) 専用設備が必要である (精密膜厚制御装置等)。

以上のように実用に際しては, 使用環境, 器具形状, 光源等の条件を十分に考慮して銀蒸着処理と増反射処理を使い分ける必要がある。

参考文献

- (1) 長尾均, 野口晋治, 青木慎一: 松下電工技報, No.47, p.28(1994)
- (2) 北村啓明, 山田真: 平成9年度照明全国大会予稿集, p.91(1996)
- (3) 北村啓明: 日経メカニカル, 1996.11.25, No.494