反射防止膜による偏光干渉を用いた半球入射の波長選択ふく射輸送

Spectral Control of Hemispherically-incident Radiation using Polarized Radiation Interference by Anti-reflection Coating Layer

○正 熊野 智之 (神戸高専) 正 花村 克悟 (東工大)

Tomoyuki Kumano¹ and Katsunori Hanamura²

¹ Kobe City College of Technology, 8-3 Gakuenhigashimachi, Nishi-ku, Kobe 651-2194, Japan

² Tokyo Institute of Technology, 2-12-1, 1 Ohokayama, Meguro-ku, Tokyo 152-8552, Japan

Key Words: Anti-reflection Coatings, Hemispherically Incidence, Polarized Radiation

1. はじめに

ふく射は物体から半球状に放射されるため、誘電体多層膜を用いて特定波長域のふく射を透過させる場合、角度分散を考慮した薄膜設計が必要となる。一方で、斜入射では干渉によって p 偏光と s 偏光の反射率を同時に 0 にすることは理論上不可能である⁽¹⁾。本研究では、反射防止膜を有する石英ガラス表面における偏光成分ごとの反射率の角度依存性に注目し、対象波長の透過ふく射エネルギーが最大となる条件を数値計算によって明らかにすることを目的とする。

2. 反射防止膜の設計

拡散入射を仮定するとふく射エネルギーは天頂角 45° の時に最大となるため、 45° 入射を対象とする。また、拡散光に対しては膜の層数が少ないことが求められることから、膜は基本的に 2 層構造とする。対象波長は、熱光起電力発電への応用を前提として $\lambda_0=1.8\mu\text{m}$ とする。

薄膜系の特性は、膜マトリクスを用いて(1)式で表される。ここで、 δ は位相差、 η は斜入射の光学アドミタンスである。等価アドミタンス $Y=C/B$ を計算すれば、 $\rho=(\eta_0-Y)/(\eta_0+Y)$ として反射率は $R=\rho\rho^*$ で求められる。p 偏光の場合は $\eta_p=y/\cos\theta$, s 偏光の場合は $\eta_s=y\cos\theta$ となる。

$$\begin{pmatrix} B \\ C \end{pmatrix} = \prod_{j=1}^n \begin{pmatrix} \cos\delta_j & \frac{i\sin\delta_j}{\eta_j} \\ i\eta_j\sin\delta_j & \cos\delta_j \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ \eta_s \end{pmatrix} \quad (1)$$

反射防止膜の設計に当たり、2 層膜は $1/4\lambda_0$ 膜系(空気-LH-基板)とする。 $1/4\lambda_0$ 膜とは、 δ が $k(1/4)\lambda_0$ となる膜を意味する。基板は石英ガラス(屈折率 1.45)とする。L 膜(低屈折率膜)の屈折率 n_L を MgF_2 を想定して 1.38 とすると、L 膜の厚み d_L は $0.380[\mu\text{m}]$ となる。p 偏光の反射率 R_p が 0 となる H 膜の条件は $n_H=1.55$, $d_H=0.326[\mu\text{m}]$ であり、s 偏光の反射率 R_s が 0 となる条件は $n_H=1.74$, $d_H=0.284[\mu\text{m}]$ である。

3. 理論解析結果

入射角 45° で $R_p=0$ となる 2 層膜の場合、 R_p が 0 に近い角度範囲は、 45° で $R_s=0$ となる膜の場合よりも広がる。よって、偏光成分に注目すると、p 偏光を対象とした薄膜設計の方が拡散入射に対する反射防止効果が高いと言える。次に、この p 偏光を対象とした 2 層膜に、 $1/2\lambda_0$ 膜である不在層を挿入した場合の 3 層膜について考える。一般的に、不在層は波長についての低反射領域を広げるために導入されるが、本研究ではその角度特性について注目する。2 層膜への不在層の挿入の仕方は、L 膜と H 膜の間に挿入する Case 1 と、最も基板側に挿入する Case 2 の 2 通りが考えられる。アドミタンス軌道図から、Case 1 は Case 2 よりも波長に対する拡張効果が高いことが明らかであるため、波長に対しては通常 Case 1 で用いられる。一方、入射角度に対する効果はアドミタンス軌道図からは予測が困難である。そこで偏光成分ごとに反射率を計算した結果、Case 2 の方が Case 1 よりも 45° 以下の全範囲で R_p が低くなることが示された。よって、波長に対する場合とは反対に、角度に対する不在層の効果は Case 2 の方が高いことが判明した。

参考文献

- (1) H.A. Macleod, Thin-Film Optical Filters Fourth Edition, CRC Press (2010), pp.403-447.