

光学多層膜(2)

波多腰玄一

1 はじめに

前章では光学多層膜の原理と、特性行列による解析法^{1~3)}を概説し、Excelによる反射率、透過率の計算プログラムを紹介した。今回はこのExcelプログラムを用いて計算できるいろいろなフィルターについて紹介する。

2 単層膜

多層膜の計算の前に、簡単な構造として層数 N が1の場合すなわち単層膜の場合に、特性行列がどのようになるかを見ておこう。

ここでは、簡単のため垂直入射の場合を考える。屈折率 n_1 、厚さ d_1 の単層膜の特性行列は、前章の式(20)より以下で与えられる。

$$M = \begin{pmatrix} \cos \phi_1 & i \frac{\sin \phi_1}{n_1} \\ in_1 \sin \phi_1 & \cos \phi_1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$\phi_1 = \frac{2\pi}{\lambda} n_1 d_1 \quad (2)$$

また同じく前章の式(27)~(30)より反射率と透過率は以下で与えられる。

$$R = \frac{n_1^2(n_{in} - n_{out})^2 \cos^2 \phi_1 + (n_1^2 - n_{in}n_{out})^2 \sin^2 \phi_1}{n_1^2(n_{in} + n_{out})^2 \cos^2 \phi_1 + (n_1^2 + n_{in}n_{out})^2 \sin^2 \phi_1} \quad (3)$$

$$T = \frac{4n_{in}n_{out}n_1^2}{n_1^2(n_{in} + n_{out})^2 \cos^2 \phi_1 + (n_1^2 + n_{in}n_{out})^2 \sin^2 \phi_1} \quad (4)$$

以下で単層膜の特別な場合として、光学的膜厚 $n_1 d_1$ が $\lambda/4$ の場合、および $\lambda/2$ の場合を考える。

(1) $\lambda/4$ 膜

光学的膜厚が $\lambda/4$ の場合、 $\phi_1 = \pi/2$ であるから、式(1)の特性行列は以下のようになる。

$$M = \begin{pmatrix} 0 & i \\ in_1 & 0 \end{pmatrix} \quad (5)$$

このとき式(3)、(4)は

$$R = \frac{(n_1^2 - n_{in}n_{out})^2}{(n_1^2 + n_{in}n_{out})^2} \quad (6)$$

$$T = \frac{4n_{in}n_{out}n_1^2}{(n_1^2 + n_{in}n_{out})^2} \quad (7)$$

上式からわかるように、以下の条件

$$n_1^2 = n_{in}n_{out} \quad (8)$$

が満たされれば $R=0$ 、 $T=1$ となる。これが無反射 (AR) 膜の原理である。

式(8)を厳密に満たす材料を使用するのは現実的には難しい。また無反射となるのは設計波長においてのみで、それ以外の波長では光学的膜厚は $\lambda/4$ ではなくなるので、単層膜により広い波長領域で無反射とすることはできない。