UIT Report Vol. 11, No. 2, pp. 235~238, 1980 연구논문집 제11권 제2호 pp. 235~238, 1980

광선분리 다중박막의 제작

한 성 홍
재 료 공 학 과
(1980. 6. 10 접수)

〈요 약〉

위상차(g)와 파장(λ) 사이의 관계를 이용하여 전자계산기로써 설계한 다중박막계가 optical 영역의 두파 $\lambda, \lambda'(=\alpha\lambda,\ 0<\alpha<1, \alpha$는 상수)을 분리시킴을 보였고, 가시광선부와 근접 적외선부를 분리시키는 분광분리기를 제작하였다.

Design of the beam splitting multilayer films

Han, Seong-Hong
Dept. of Materials Science
(Received June 10, 1980)

〈**Abstract**〉

It was shown that a multilayer thin film system could be used to separate two optical waves of wavelengths, λ and λ' $(=\alpha\lambda,\ 0<\alpha<1,\ \alpha$ is a constant.). The multilayer system was designed using a computer based on the relation between the phase difference (g) and the wavelength (λ). A beam splitter for visible rays and adjacent IR rays was designed.

다중박막을 이용하여 여러가지 광학적 특성을 갖도록 설계하는 것이 이론 및 실제적인 응용으로 많이 연구되고 있다. [1,2,3] 특히 antireflection, optical filter에 대해서는 참고 문헌 [4], [5]와 [6]에 각각 잘 설명되어 있다. 본 연구에서는 유전체 ZnS(H)와 MgF_2(L)의 다중박막을 이용하여 optical 영역의 파를 선택적으로 분리시키는 분광분리기를 위상차(g)를 도입하여 쉽게 설계, 제작하였다.

Fig. 1과 같이 양쪽 massive한 물질 사이에 m층의 유전체 박막이 있고, 이 박막이 $y-z$ 평면에 무한히 평행하다고 할 때, 이 박막층에 optical 영역의 평면파가 입사할 경우를 생각하자. j층 하단에 입사하는 파와 반사하는 파의 전기장의 세기를 각각 E_j^+, E_j^-라 하고, P와 S편극에 대하여 $E^\pm$가 전기장의 세기의 y와 z성분을 표시하면 각 편극에 대해서 다음과 같은 matrix방정식을 얻는다. [1,7]

$$\begin{pmatrix} E_m^+ \\ E_m^- \end{pmatrix} = A_{m-1}\cdot A_{m-2}\cdots A_2\cdot A_1 \begin{pmatrix} \frac{u_1+u_0}{2u_1}E_0^+ \\ \frac{u_1-u_0}{2u_1}E_0^+ \end{pmatrix} \quad (1)$$

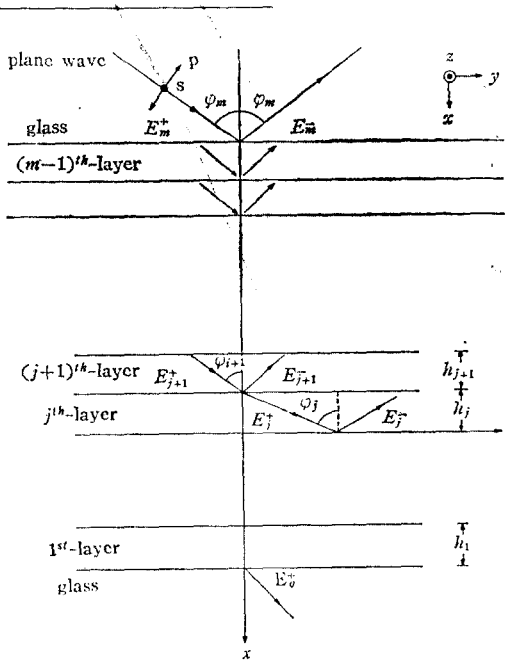

Fig. 1. Field in the thin film.

$$A_j=\begin{pmatrix}\frac{u_{j+1}+u_j}{2u_{j+1}}e^{ig_j} & \frac{u_{j+1}-u_j}{2u_{j+1}}e^{-ig_j}\\ \frac{u_{j+1}-u_j}{2u_{j+1}}e^{-ig_j} & \frac{u_{j+1}+u_j}{2u_{j+1}}e^{ig_j}\end{pmatrix} \quad (2)$$

$$g_j=\frac{2\pi}{\lambda}n_jh_j\cos\varphi_j \quad (3)$$

식 (3)에서 n_j, h_j, φ_j와 λ는 각각 j층의 굴절율, 박막의 기하학적 두께, 하단에 입사하는 입사각 및 파장이며, 식 (1)과 (2)에서 u_j는 P편극에 대해서 $\frac{n_j}{\cos\varphi_j}$, S편극에 대해서 $n_j\cos\varphi_j$으로 주어진다. 한편, 반사율 (R)과 투과율 (T)는 다음과 같이 정의된 Fresnel factor로서 표시할 수 있다.

$$r=\left(\frac{E_m^-}{E_m^+}\right) \qquad t=\left(\frac{E_0^+}{E_m^+}\right)$$

즉, $R=|r|^2$, $T=(u_0/u_m)|t|^2$, 그리고 편극되지 않은 파가 입사할 경우 $R=\frac{1}{2}(R_p+R_s)$, $T=\frac{1}{2}(T_p+T_s)$로 주어진다.

파장이 $\lambda, \lambda'(=\alpha\lambda$; α는 1보다 작은 상수)인 두가지의 파가 박막의 optical thickness($=nh\cos\varphi$)에 의하여 위상차 g, g'을 갖는다면 두 파를 분리하기 위해서는 Fig. 2에서 보듯이 λ, λ'의 파가 a를 지나 b에서 반사하여 c에 왔을 때 서로 반대의 위상을 가져야 한다. 즉,

$$g-g'=n\pi-\pi/2 \ (n\text{은 정수}) \quad (4)$$

따라서, 식(4)를 만족하면서 λ, λ'중 하나가 최대 반사율을 가지면, 다른 하나는 최소의 반사율을 가지게 되므로 이런 조건을 만족하는 다층박막을 만들면 된다. 하지만 $g=g(h, n(\lambda), \varphi(n(\lambda)), \lambda)$ 이므로 식 (4)를 만족하는 optical thickness를 정확히 구할 수 없고 또 식 (1)에서의 행렬 계산 자체도 너무 복잡하므로 두개의 파가 주어지면 전자계산기를 이용하여 시행착오를 거쳐 최적조건을 구할 수 있다. 먼저 λ, λ'중 λ가 최대의 반사율을 갖도록 식(4)에서 optical thickness를 구한다. 그러나 이 optical thickness로 만들어진 다층박막은 λ'에서 일반적으로 최소 반사율을 가지지 아니 하므로 optical thickness를 조금씩 변화시키면서 거의 λ가 최대 λ'이 최소 반사 되도록 한다. 특히 $\alpha=\frac{1}{2}$인 경우, $g=\frac{\pi}{2}$이면 식 (3)에 의하여 $g'=\pi$가 되어 λ는 최대 반사 되고 λ'이 최소 반사(최대 투과)하게 된다. 이 경우는 식 (4)가 잘 맞는 경우이다. $g'=\frac{\pi}{2}$이면 식 (3)에 의하여 $g=\frac{\pi}{4}$가 되어 식 (4)로 부터 $g=n\pi$가 되어야 하는 조건을 만족시키지 아니 하지만 optical thickness를 변화시켜 λ'이 최대 반사 되고 λ가 최대 투과 되도록 할 수 있다. 일반적으로 α가 주어지면 위와 같은 과정으로 설계할 수 있다.

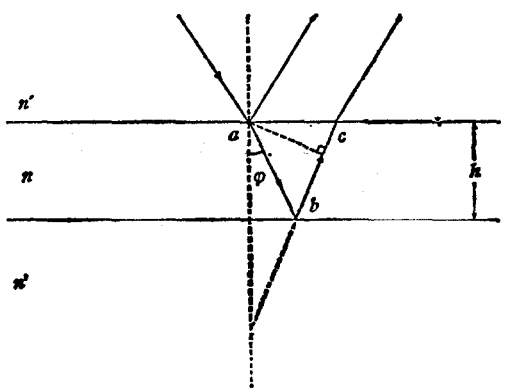

Fig. 2. Opitical path difference.

($OPD=2nh\cdot\cos\varphi$
$=\frac{\lambda}{2}$ for high reflectivity
λ: vacuum wave length)

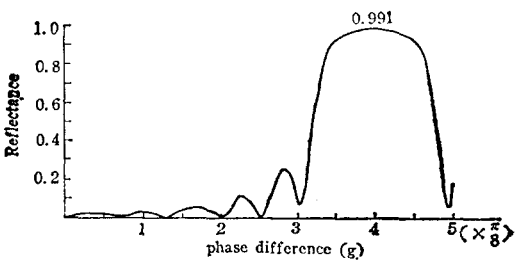

Fig. 3. Computation of reflectance of beam splitter with 6 pairs of (HL) for g in normal incidence.

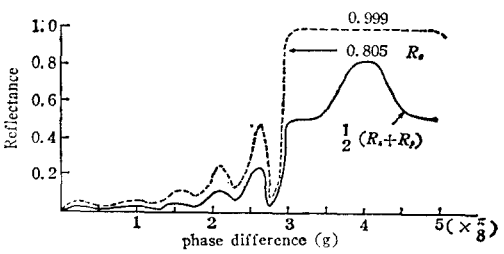

Fig. 4. Computation of reflectance of beam splitter with 6 pairs of (HL) for g in $\frac{\pi}{4}$ incidence.

본 논문에서는 가시부와 근접 적외선부를 분리하는 분광분리기를 설계 제작하였다. 각 부분의 중심이 되는 파는 우리가 잘 알고 있는 5461Å과 1.06μ으로 정하였으며, 수직입사와 $\frac{\pi}{4}$입사에 대하여 가시부 반사와 적외선부 반사를 설계하였다. Fig. 3과 4는 각각 수직입사와 $\frac{\pi}{4}$입사에 대하여 6쌍[$(LH)^6$]의 다중박막에 λ(1.06μ)의 파가 입사할 때 위상차

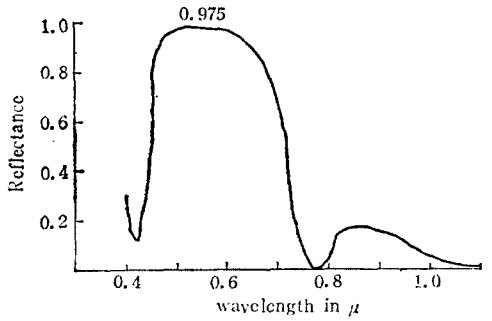

Fig. 5. Computation of spectral reflectance of the beam splitter with double 4 pairs of(HL) for wavelength in normal incidence.

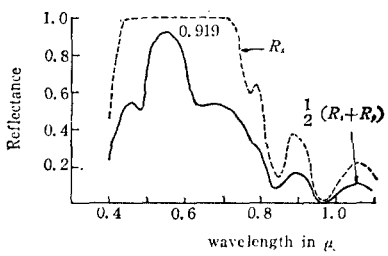

Fig. 7. Computation spectral reflectance of the beam splitter with 8 pairs(HL) for wavelength in $\pi/4$ incidence.

g와 반사율과의 관계를 전자계산기로 계산한 결과 학적 두께는 각각(989.3Å, 573.6Å), (1157.2Å, 1915.2Å), (639.4Å, 1578.6Å), (1306.0Å, 3056.2Å)인데 이수치는 전자계산기를 이용하여 optical thickness를 변화시켜 얻은 최적치이다. 따라서 수직입사의 경우는 95% 이상의 좋은 분광 능력을 가지지만, $\frac{\pi}{4}$입사의 경우는 박막층의 수를 증가시켜야만 한다. Fig. 4, 7, 8에서 볼 수 있듯이 수직이 아닌 입사의 경우에는 각 편극에 따라서 반사율이 아주 다르게 나타난다. 최대 반사율을 나타내는 영역이 박막층의 수가 증가할수록 좁아진다. 따라서 박이다. 이 결과를 이용하면 α가 약 $\frac{1}{2}$이므로 λ에서 최대 반사, λ'에서 최대 투과되는 것을 쉽게구할 수 있다. 그리고 λ에서 최대 투과, λ'에서 최대 반사하는 것도 앞에서 설명한 방법에 의하여 구할 수 있다. 위의 과정에서 얻은 결과가 입사각 0과 $\frac{\pi}{4}$에 대하여 Fig. 5와 6, 7과 8에 각각 나타나

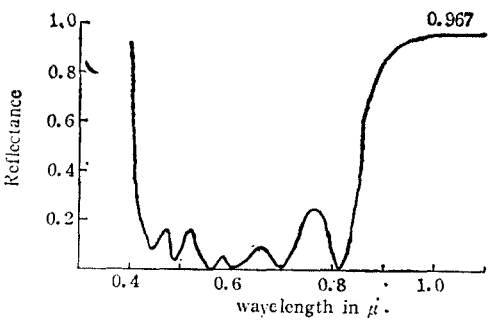

Fig. 6. Computation of spectral reflectance of the beam splitter with double 4 pairs of (HL) for wavelength in normal incidence.

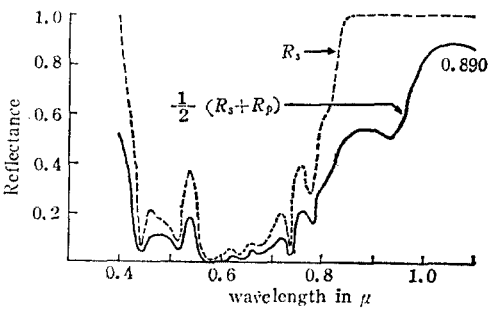

Fig. 8. Computation spectral reflectance of the beam splitter with 8 pairs(HL) for wavelength in $\pi/4$ incidence.

있다. Fig. 5, 6, 7, 8에서 (MgF_2, ZnS) 박막쌍의 기하막층의 수를 설계하고자 하는 용도에 맞도록 적당히 선택하여야 한다. Fig. 7에서 파장이 0.62~0.74μ의 영역을 보면 P편극은 전부 투과하고 S편극은 전부 반사함을 알 수 있다.

실제적인 분광분리기의 제작은 유리를 기판으로 하여 진공도가 ~10^{-6}torr인 진공 증착기 속에서 MgF_2와 ZnS의 thermal evaporation에 의하여 이루어졌다. Fig. 7에 의하여 만들어진 분광분리기의 성능을 spectrometer를 사용하여 반사율을 측정한 결

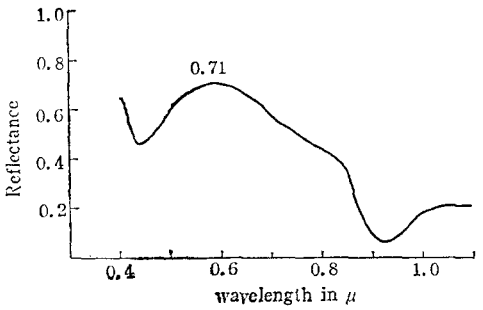

Fig. 9. Experimental spectral reflectance of the beam splitter with 3pairs×4pairs(HL) for wavelength in $\frac{\pi}{4}$ incidence.

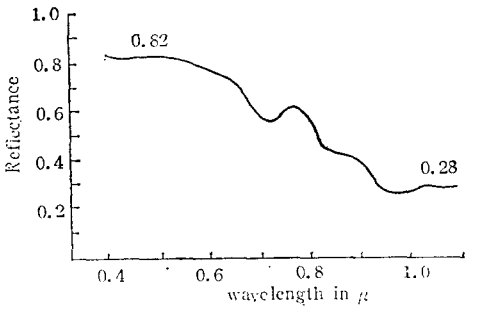

Fig. 10. Experimental spectral reflectance of the beam splitter with double 5 pairs (HL) for wavelength in $\frac{\pi}{4}$ incidence.

과가 Fig. 9와 10에 나타나 있다. Fig. 10을 보면 거의 80%를 분리하는 성능을 가지게 됨을 알 수있다.

Fig. 7과 9, 10의 결과로 부터 간접한 optical 영역의 두 부분의 파를 분리시키는 분광분리기는 식(3)과 (4)를 이용하여 전자계산기의 도움으로 어렵지 않게 제작할 수 있다.

참 고 문 헌

1. S. S. Lee, New Phys. (K. P. S) **12**, 98(1972).
2. O. S. Heavens, "Optical Properties of Thin Solid Films", Butterworth, London, (1955).
3. J. Mouchart, Appl. Opt. **17**, 1458(1978).
4. J. Mouchart, Appl. Opt. **16**, 3237(1977).
5. K. Rabinovitch and M. Drucker, Appl. Opt. **18**, 553(1979).
6. G. Castagno, F. Demichelis, and E. Minetti-Mezzetti, Appl. Opt. **19**, 386(1980).
7. G. Hass & R. E. Thun, "Physics of Thin Films", Vol. 5, Academic Press, N. Y. (1969).