

1.55 $\mu\text{m}$ 에서 최적화된 유전체 다층막의 미러 특성  
The Mirror Characteristics of Dielectric Multilayer  
Optimized at 1.55 $\mu\text{m}$  Wavelength

\*박 태 성\*, 정 홍 배\*, 김 명 진\*\*, 윤 대 원\*\*

\*광운대학교 전자재료공학과, \*\*전자부품종합기술연구소

\*T.S. Park\*, H.B. Chung\*, M.J. Kim\*\*, D.W. Yoon\*\*

\* Dept. of Electronic Materials Eng., Kwangwoon Univ.

\*\* Korea Electronics Technology Institute

Abstract

The fabrication of dielectric multilayer mirror(DMM) optimized at the wavelength of 1.55 $\mu\text{m}$  and its spectral properties were investigated. The materials used in the fabrication of DMM are  $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ , which have the advantage of yielding high reflectance for relatively small numbers of layers. The optical constants of  $\text{TiO}_2$  single film were obtained by using a modified envelope method. The reflectances of DMMs with 3,7,11 and 23 layers were 58%, 89%, 97% and 99.9% at the wavelength of 1.55 $\mu\text{m}$ , respectively.

제 1 장 서 론

본 연구에서는 유전체 다층막(dielectric multilayer) 제작을 통해 광통신용 광원인 1.55 $\mu\text{m}$ 의 파장 영역에서 Reflector와 Fabry-Perot 필터로 응용 가능한 미러를 제작하여 반사 특성을 고찰하였다. 미러 제작을 위한 유전체 다

층막은 굴절율이 서로 다른  $\text{TiO}_2$ 와  $\text{SiO}_2$ 의 이중층(double layer)구조에 의해 구성되었으며 Transfer Matrix 이론에 의해 설계된 다층막 층수에 따른 반사도의 이론 예측값과 유리기판 위에 코팅된 다층막의 반사도 측정값이 비교 고찰 되었다. 다층막 제작을 위한 막의 두께 조절은 광섬유 두께감지 시스템을 사용하여 D.R. Gibson등이 제시한 turning point법에 의해 수행되었다.

또한, 유전체 다층막 미러를 구성하는 단일 층 막막의 광특성을 해석하기 위해 C.H.Peng 등이 사용하였던 수정된 envelope method에 의해 1.55 $\mu\text{m}$  파장에서의 굴절율과 흡수계수등을 고찰하였다.

제 2 장 이 론

2-1. 다층막막의 설계

유전체 다층막에 의한 미러 제작은 코팅되는 물질의 굴절율과 두께, 사용중심파장, 층수(layer number)등을 고려함으로써 광학렌즈용 무반사 코팅막과 레이저 미러와 같은 고반사율의 코팅막 제작이 가능하다. 높은 반사율의 다층막 제작을 위해 막막 두께는 반사율이 최대

가 되는  $\lambda/4n_f$  두께를 갖으며, 크고 작은 굴절율의 박막이 서로 교번되는 그림 2-1과 같은 이중층의 다층막 구조를 갖는다. 이러한 이중층 다층막 구조에서 Transfer 행렬식은  $\lambda/4n_f$ 의 코팅두께를 갖는 개별 박막의 Transfer 행렬식의 곱으로 표현된다.

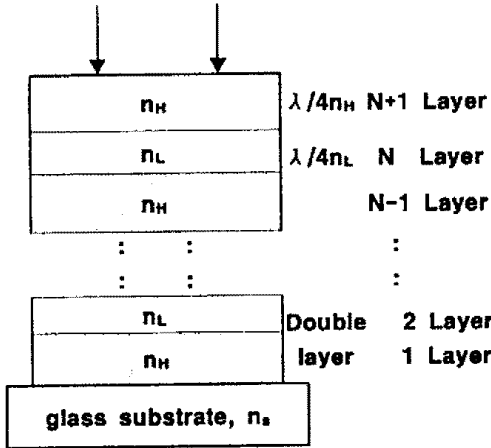


그림 2-1 이중층의 다층막 구조

일반화된 다층의 이중층 구조에서 전체 Transfer 행렬식은

$$T_{2N} = (T_{H1} T_{L1}) \dots (T_{HN} T_{LN}) = (T_H T_L)^N = (T_{HL})^N$$

$$T_{2N} = \begin{bmatrix} -\frac{\gamma_L}{\gamma_H} & 0 \\ 0 & -\frac{\gamma_H}{\gamma_L} \end{bmatrix}^N = \begin{bmatrix} (-\frac{\gamma_L}{\gamma_H})^N & 0 \\ 0 & (-\frac{\gamma_H}{\gamma_L})^N \end{bmatrix}$$

이 되므로 실제적으로 높은 반사도를 갖는 다층막 구조에 대한 Transfer 행렬식은

$$T_{2N+1} = T_{2N} \cdot T_H = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix}$$

으로 표현된다. Transfer 행렬식으로 부터 얻어지는 반사계수식은 다음과 같다.

$$r_{2N+1} = \frac{\gamma_o T_{11} + \gamma_o \gamma_s T_{12} - T_{21} - \gamma_s T_{22}}{\gamma_o T_{11} + \gamma_o \gamma_s T_{12} + T_{21} + \gamma_s T_{22}}$$

또한, 반사도는

$$R_{2N+1} = |r_{2N+1}|^2 = \left[ \frac{(n_o/n_s)(n_L/n_o)(n_L/n_H)^{2N} - 1}{(n_o/n_s)(n_L/n_o)(n_L/n_H)^{2N} + 1} \right]^2$$

이 된다. 그림 2-2는 TiO<sub>2</sub>와 SiO<sub>2</sub>박막의 층수와 파장에 따른 반사도를 나타내고 있다

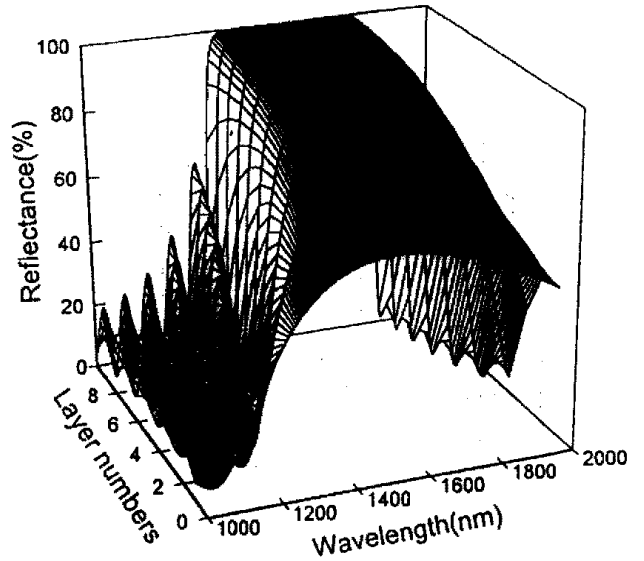


그림 2-2 층수와 파장에 따른 반사도

## 2-2. 광학계수 결정

흡수가 적은 유전체 박막의 광학적 성질을 연구하는데 이용되어온 수정된 envelope Method는 C.H.Peng등에 의해 제시되었고 입사빔에 대해 손실 요인이 되는 기판 뒷표면에서의 반사가 고려됨으로서 투과도 측정에 따른 굴절율 및 흡수계수등의 예측이 보다 정확성을 기할수 있게 되었다. 굴절율과 파라메타L은 다음식으로 나타내어 진다.

$$n = [L + (L^2 - n_s^2)^{0.5}]^{0.5}$$

$$L = \frac{1}{2} (1 + n_s^2) + \frac{8n_s^2}{(n_s + 1)^2} \frac{(T_{max} - T_{min})}{(T_{max} + T_{min})}$$

## 제 3 장 실험

이중층 구조의 다층막 제작은 Ti와 SiO<sub>2</sub> 2개의 target으로 구성된 RF 마그네트론 스퍼터 (magnetron sputter) 시스템에 의해 수행되었고 광섬유형 두께 감지 시스템을 설치하여 코팅 과정중의 광섬유 단면에서의 두께 변화와 반사도 변화를 관찰 할 수 있도록 하였다.

표 3-1은 이중층의 다층막 구성을 위한 TiO<sub>2</sub>와 SiO<sub>2</sub>박막의 스퍼터 공정조건을 나타낸 것으로 각 박막의 두께는  $\lambda/4n_f$ 의 위상조건이 만족되도록 하였고, 증착된 단일막의 두께와 광특성 측정을 통해 다층 반사막 제작의 기초 자료로 사용하였다.

표 3-1 스퍼터 시스템의 공정조건

Target Material	Ti	SiO <sub>2</sub>
Target Purity	99.9%	99.99%
Target Size	2 inch	2 inch
Gas	Ar	8 sccm
	O <sub>2</sub>	2 sccm
Power	250 Watt	150 Watt
Deposition rate	2.77nm/min.	18nm/min.
Thickness	175 nm	270 nm

박막의 두께는 두께 측정기(Veeco Sloan Tech.:Dektak<sup>3</sup>)에 의해, 반사도와 투과도는 spectrophotometer(Hitachi)에 의해 측정되었고, 굴절율은 Rudolph Research사 Auto-EL에 의해 632.8nm 파장에서 측정되었다. 또한, TiO<sub>2</sub>와 SiO<sub>2</sub>박막에 의한 3층, 7층, 11층, 23층의 다층막 미러가 제작된후 반사도가 측정되었다.

제 4 장 결과 및 고찰

4-1 단일 박막의 광학계수 결정

다층 반사막 제작의 기본 특성 자료를 얻기 위한 단일 박막에서의 광특성 고찰이 본절에서 이루어 졌다. 수정된 envelope method의 관련 수식과 TiO<sub>2</sub> 박막의 투과도 곡선으로부터 파장에 따른 굴절을 예측 곡선과 측정값을 그림 4-1에서 나타내었다. 그림 4-1은 632.8nm파장에서 굴절을 측정값 2.242와 예측값 2.251이 약 0.009의 차이로 거의 유사한 값을 갖음을 알 수 있고, 이러한 결과로부터 1550nm파장에서의 굴절율은 2.17로 예상되었다.

4-2 다층막의 제작 특성

이중층 구조의 다층 반사막은 굴절율과 박막두께, 층수, 중심 파장등을 고려한 Transfer 행렬식에 의해 설계되어 제작되었다.

그림4-2과 4-3은 11층과 23층이 미리 코팅된 유리 기판에서의 파장에 따른 반사도 곡선으로서 Transfer 행렬식에 의해 예측된 곡선과 함께 나타내었다. 11층이 미리 코팅된 그림 4-2에서 반사도의 측정 대역폭과 이론 대역폭은 거의 동일하나 측정값이 이론값에 비해 중심

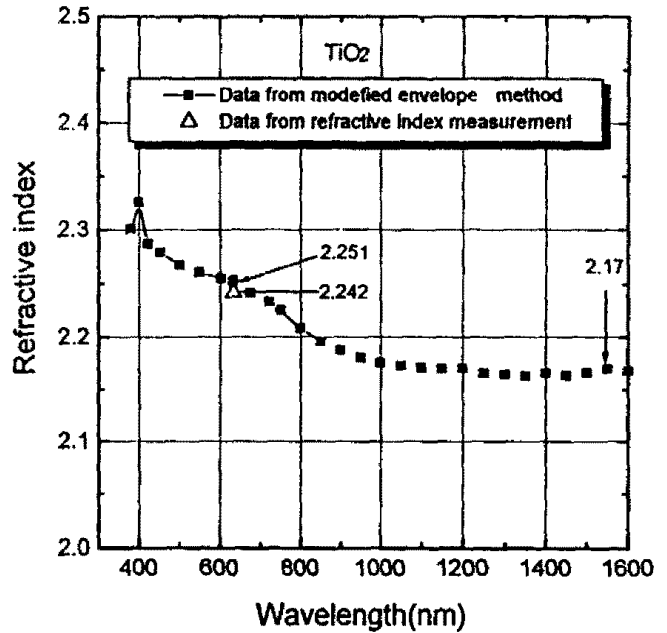


그림 4-1 TiO<sub>2</sub> 박막의 굴절을 예측 곡선과 측정값

파장이 단파장쪽으로 약 50nm 이동되어 있음을 알 수 있다. 이것은 TiO<sub>2</sub>와 SiO<sub>2</sub> 박막이 각 층마다 증착될때  $\lambda/4n_f$ 의 위상두께보다 적게 코팅됨으로서 중심파장이 단파장으로 이동하게 되는 결과를 갖는 것으로 생각될 수 있다. 반면, 그림 4-3의 23층이 미리코팅 경우는 반사도 대역폭이 장파장영역으로 약 30nm 이동되어 있으므로 이것은 그림 4-2와는 달리 각박막이 위상두께보다 두껍게 코팅된 결과로 해석될 수 있다.

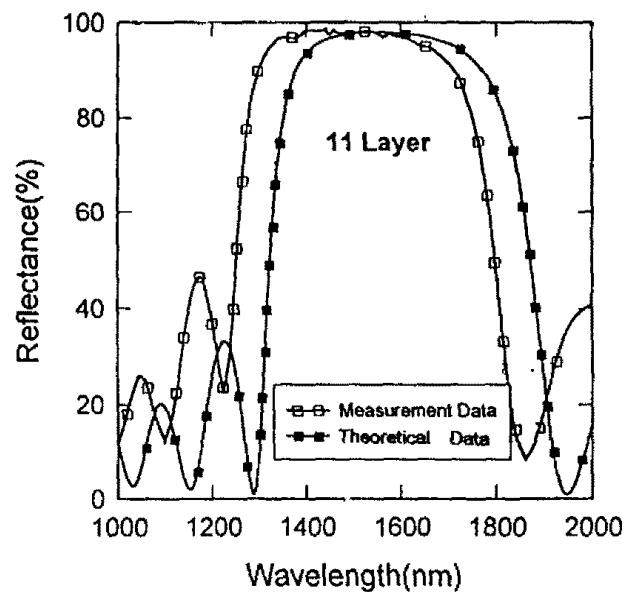


그림 4 2 11층 코팅된 다층막의 파장에 따른 반사도

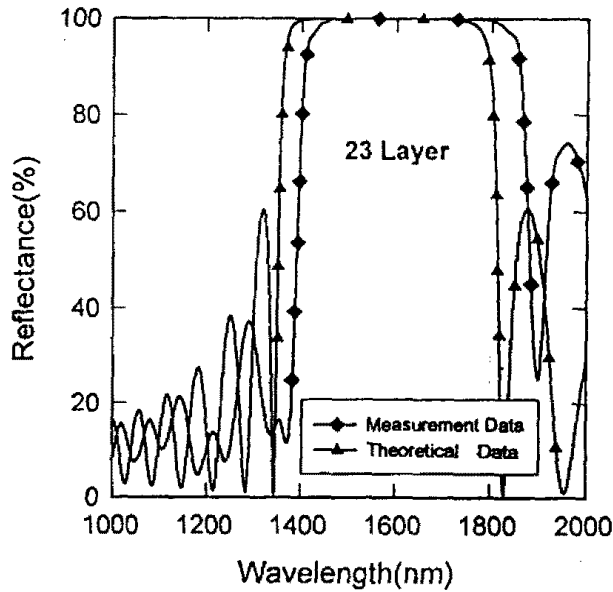


그림 4-3 23층 코팅된 다층막의 파장에 따른 반사도

#### 제 4 장 결 론

1. Transfer Matrix 이론에 의해 이중층 구조의 유전체 다층막을 설계한 후 RF 마그네트론 스퍼터와 광섬유형 두께 감지 시스템을 이용하여  $1.55\mu\text{m}$ 의 파장 영역에서 높은 반사도를 갖는 다층 박막을 제작하였다.  $\text{TiO}_2$ 와  $\text{SiO}_2$ 의 이중층 구조로 3, 7, 11, 23층의 다층막이 반사도 60~99.9%의 값을 얻기위해 유리기판 위에 제작 되었다.

2. 수정된 Envelope Method에 의한 투과도 곡선으로부터  $\text{TiO}_2$  단일층박막의 굴절율은 632.8nm에서 2.251로 예측되었고 측정값은 2.242로 그차는 0.009에 불과하였고 이를 토대로 1550nm 파장에서의 굴절율값은 2.17로 예측 되었다.

3. Transfer Matrix 이론에 의한 층수변화에 따른 설계 이론값과 Glass위에 코팅된 미러의 반사 대역폭의 차이가 코팅층수에 따라 30~50nm차이가 발생하였으나 이값은 최적의 설계 이론값과 실제 코팅되는 두께와의 차이에 기인 하는것으로 판단된다.

4. 다층막 형성에 따른 반사도는 3, 7, 11, 23층에 대해 58%, 89%, 97%, 99.9%였다.

#### 참고문헌

1. Max Born, Emil Wolf, "Principle of Optics", sixth edition, Pergamon Press
2. D.R.Gibson, P.H.Lissberger, "A high precision adaption of the 'turning-point' method of monitoring the optical thickness of dielectric layers using microprocessors", Optica Acta, Vol.29, No.2, pp.221-234, 1982
3. Ross C.McPhedran, et al, "Unambiguous determination of optical constants of absorbing films by reflectance and transmittance measurements", Appl. Opt., Vol.23, No.8, pp.1197-1205, 1984
4. J.C.Manificier, J.Gasiot, "A simple Method for Determination of the Optical constants  $n, k$  and the thickness of a weakly Absorbing Thin films", J. Phys. E:Sci. Instrum., Vol.9, pp.1002-1004, 1976
5. Chien H.Peng "Modified Envelope Method for Obtaining Optical Properties of Weakly Absorbing Thin Films and Its Application to Thin Films of  $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$  Solid Solutions", J. Am. Ceram.Soc., Vol.77, No.4, pp.929-938, 1994