

## Scan 설계 방법을 이용한 Polarizing beam splitter의 박막 설계

김 현수 , 이 상수

( 한국 과학 기술원 물리학과 )

1.06  $\mu\text{m}$  의 파장을 가지는 고출력 레이저용으로서 Front surface polarizer 형태를 갖는 polarizing beam splitter 의 박막계를 박막의 층수를 변화시켜가면서 beam의 입사각  $30^\circ$  와  $45^\circ$  에 대해서 설계하였다. 박막 유전체로서  $\text{SiO}_2$  와  $\text{TiO}_2$  를 선택하여 그 두 물질의 교차층으로서 가장 효과적이고 두께 오차에 대해서 안정한 박막을 구하였다.

### 1. 서론

박막의 한 응용 분야로서 Polarizing beam splitter 는 큰 입사각에서 p 편광파와 s 편광파를 분리해내는 장치이다. 이런 장치의 형태로서 Macneille 이 고안한 Biprism 형태와 Front surface polarizer 가 있다. [1] Macneille prism[2][3] 은 두 개의 프리즘 사이에 박막 교차층을 통과하는 beam이 항상 경계면에서 Brewster condition 을 만족하도록 박막물질의 굴절률이 선택되어 짐으로써 편광 분리 파장영역이 매우 넓으며 분리 효과도 매우 좋다. 그러나 두 개의 프리즘의 결합시 cementing 이 필요하며 high power laser에 의한 damage 를 입기 쉽기 때문에 또다른 형태인 Front surface polarizer 를 선택하여 앞뒷면의 박막을 설계하였다.

### 2. 박막 이론 및 설계 방법

공기와 유리 사이의 여러 반무한 박막층이 있을 경우 Maxwell 방정식의 경계조건으로부터 전장의 Tangential 성분들의 관계식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} E_o^+ \\ E_o^- \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & Y_o^{-1} \\ 1 & -Y_o^{-1} \end{bmatrix} \prod_{j=1}^m A_j \begin{bmatrix} 1 \\ Y_{m+1} \end{bmatrix} E_{m+1}^+$$

여기서  $A_j$  는 박막 특성행렬이며  $Y_j$  는 일반화된 굴절률이다. 이 식의 최종계산 행렬을 다음과 같이 쓰면

$$\begin{bmatrix} E_o^+ \\ E_o^- \end{bmatrix} = \frac{1}{2Y_o} \begin{bmatrix} M_{11} + i M_{12} \\ M_{21} + i M_{22} \end{bmatrix} E_{m+1}^+$$

각 편극에 대한 반사율  $R_p, R_s$  는 다음과 같다.

$$R_p = \left[ \frac{M_{21}^2 + M_{22}^2}{M_{11}^2 + M_{12}^2} \right]_p, \quad R_s = \left[ \frac{M_{21}^2 + M_{22}^2}{M_{11}^2 + M_{12}^2} \right]_s,$$

설계 방법은 먼저 박막층수와 각 층에 대한 박막물질을 선택하고 적당한 기준 파장을 결정한 후 설계하고자하는 입사각과 파장에 대해서 최적화 기법 가운데 Simplex scan 방법을 사용한다. 즉 목적함수를

$$f = \sum_{k=1}^N W_k (R_k - R_{k0})^2$$

(여기서  $W_k$  는 Weighting factor)

으로 두고 각층의 두께를 일정 범위에서 일정 간격으로 변화시켜가면서 이 목적함수를 계산하여 이 목적함수가 최소가 되는 최적 두께들을 구한다. 실제설계에 있어서는 목적함수를

$$f = (R_s - 1)^2 + 100 \cdot (R_p - 0)^2$$

(여기서  $R_s, R_p$  는  $1.06 \mu m$  에서의 반사율)

으로 두고 두께 범위를 실제 coating 에서 monitoring 하기쉬운 위상 두께  $45^\circ \sim 180^\circ$  를  $45^\circ$  간격으로 scan 하였다.

한편 박막 두께에 대한 error test 로서 2% random error 를 발생시키시 5번의 각각 다른 error 에 대해서 평가하였다.

### 3. 설계 결과 및 결론

최적화 방법으로 설계된 polarizing beam splitter 의 뒷면에 대한 박막 계가 각 층별로 입사각  $30^\circ$  와  $45^\circ$  에 따라 table1 에 주어져있다. 그리고 이들 가운데에서 15층과 25층에 대해서는 파장에 따른 반사율이 그림1 과 그림2 에서 보여지고있다. Brewster angle 이 약  $56.66^\circ$  이므로 입사각이 이에 가까운  $45^\circ$  에 대해서  $30^\circ$  보다 더 안정되며 박막의 층수가 증가함에따라 s 편극과 p 편극을 분리하는 효과가 훨씬 크다는것을 알 수 있다. 또 15층과 25층에 대해서 두께의 2% random error 를 주었을 때의 graph 가 그림3에 나타나있다. 한편 앞면에 대한 무반사 역시 박막 물질을  $\text{SiO}_2$  와  $\text{TiO}_2$  로해서 두 층에 대한 설계가 table2와 그림4 로 나타나있는데  $45^\circ$  와  $30^\circ$  에 대해서 각각 두 개의 해가 존재하나 그 중 더 안정된 해를 선택하면서 p 편광과 s 편광의 분리도를 높이기위하여 최소 반사율의 파장을 약간 이동시켰다.

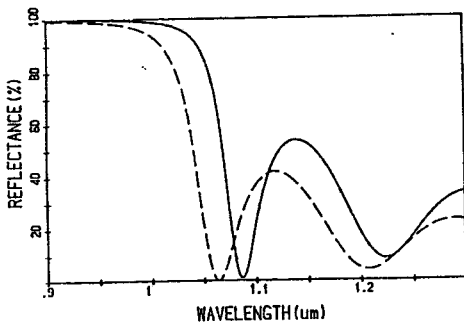
이상에서의 설계를 좀 더 개선하기위해  $1.06 \mu\text{m}$  근처의 몇 개 파장에 대해서도 목적함수에 최소 자승값을 첨가시켜주면 좀 더 넓은 영역의 편광 분리를 할 수 있을 것이며 입사각을 더 크게 잡아주면 분리효과를 훨씬 좋게 할 수 있을것이다. 또 무반사에 대해서도 4층 박막을 이용하면 분리비를 높일 수 있을 것이다. 실제  $\text{SiO}_2$  ,  $\text{TiO}_2$  film 의 증착은 electrn beam evaporation 이나 laser damage threthold 를 높이기위해 sol-gel process 를 도입하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

### REFERENCE

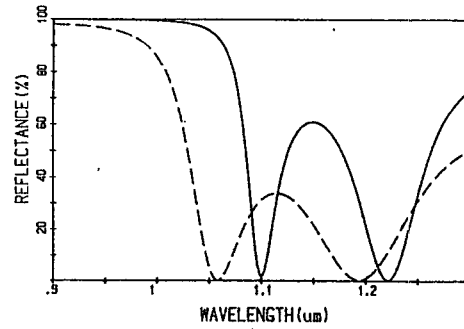
- [1] R.R. Austin and R.C. Bastien , J.Opt.Soc.Am.62,1355A (1972)
- [2] P.B. Claphan , M.J.Downs , and R.J. King , Appl.Opt.8,1965 (1969)
- [3] 박세일, 석사학위논문, KAIST, (1987)

thin film material	입사각	30	45	30	45	45	30	30	45
	기준파장	0.90	1.06	0.90	0.95	0.90	0.90	0.90	0.95
TiO <sub>2</sub>	P	95	40	100	110	125	50	45	60
SiO <sub>2</sub>	H	90	135	90	90	90	135	90	90
TiO <sub>2</sub>	A	90	90	90	90	90	90	90	90
SiO <sub>2</sub>	S	90	90	90	135	135	90	90	90
TiO <sub>2</sub>	E	90	45	90	45	45	90	90	90
.		90	90	90	90	90	90	90	90
.	T	90	90	90	135	180	90	90	90
.	H	90	90	90	135	90	90	90	90
.	I	90	90	90	45	90	90	90	90
.	C	90	90	90	90	90	135	90	90
.	K	90	45	90	90	90	135	90	90
.	N	90	45	90	90	90	135	90	90
.	E	135	90	135	90	90	45	90	90
.	S	45	90	45	90	90	90	135	135
.	S	90	90	45	90	90	90	90	90
.		135	90	180	135	90	90	90	90
.				135	90	135	90	90	90
.				90	90	180	90	90	90
.						90	90	90	90
.						135	135	90	90
.							90	90	90
SiO <sub>2</sub>							90	90	90
TiO <sub>2</sub>								90	90
SiO <sub>2</sub>								90	90
TiO <sub>2</sub>								90	90
	Rs (%)	<b>70.82</b>	<b>91.73</b>	<b>80.03</b>	<b>98.43</b>	<b>98.17</b>	<b>94.07</b>	<b>67.80</b>	<b>98.27</b>
	Rp (%)	<b>0.73</b>	0.99	2.18	0.05	0.24	<b>0.15</b>	0.67	0.34

[ Table 1 ] Thin film data for back surface of polarizing beam splitter

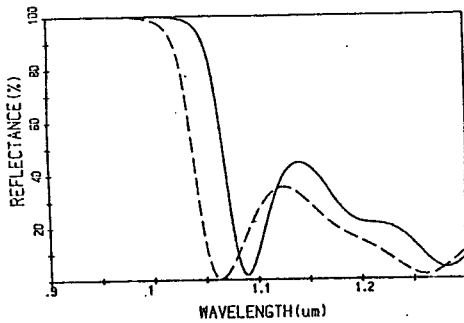


(a)

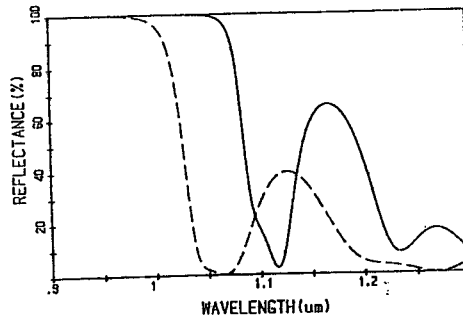


(b)

(그림 1) 15층 박막의 front surface polarizer  
(a) 입사각 =  $30^\circ$  (b) 입사각 =  $45^\circ$

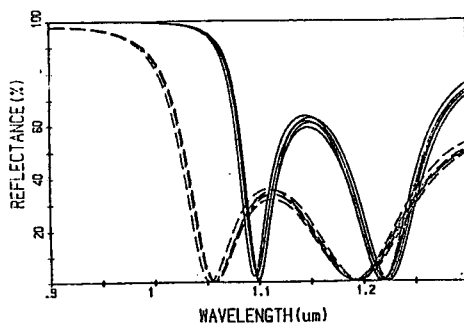


(a)

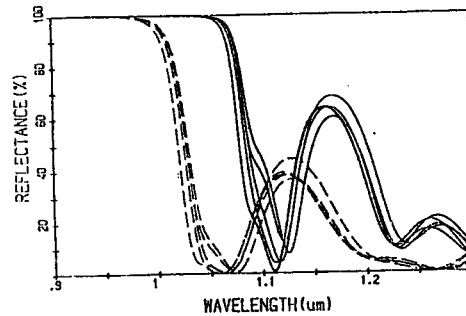


(b)

(그림 2) 25층 박막의 front surface polarizer  
(a) 입사각 =  $30^\circ$  (b) 입사각 =  $45^\circ$



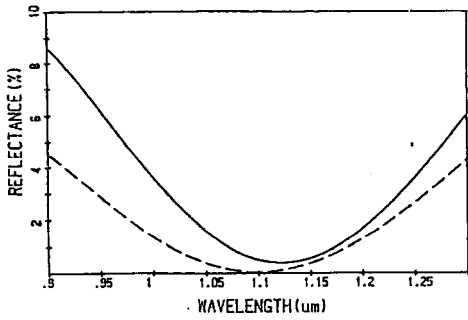
(a)



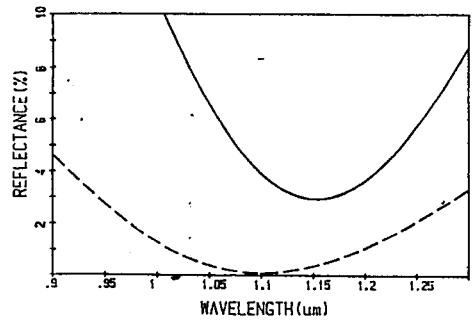
(b)

(그림 3) 2% random thickness error를 준 입사각 45의 front surface polarizer

(a) 15층 박막 (b) 25층 박막



(a)



(b)

(그림 4) 2 층 무반사  
 ( a ) 입사각 = 30°      ( b ) 입사각 = 45°

( Dotted line ; P - pol., Solid line ; S - pol. )

Layer number	incident angle		30	45
1	Phase	SiO <sub>2</sub>	61	55
2	thickness	TiO <sub>2</sub>	171	184
	Rs		1.25	5.85
	Rp		0.25	0.26

[ Table 2 ] Thin film data for front surface of polarizing beam splitter