

Design of Thin Solid Film Systems for Nd High Power Laser and Sol-gel Coating Experiment

Hyeon Soo Kim, Se Il Park and Sang Soo Lee
Department of Physics, KAIST

Sung Hong Hahn
Department of Physics, Ulsan University

Abstract

Thin solid film systems polarizing beam splitter and disk amplifier used in the high power laser system ($\lambda_0 = 1060 \text{ nm}$) are designed by computer aided optimization technique. Extinction ratio of designed polarizing beam splitter for incidence angle 30° , 45° , 56.66° are 1:93, 1:895, 1:1991, respectively. Maximum reflectance of designed thin film system of disk amplifier is less than 3% for pumping band (500-900 nm) and 0.15% for laser beam.

Further, SiO_2 film chosen as one of the suitable thin films in the high power laser system is prepared by the sol-gel process which gives high damage threshold. When the withdrawal speed is 6.15 cm/min - 16.62 cm/min and the mixing ratio is in the range of 1 mol (ethylsilicate) : 4-8 mol (ethylalcohol) : 2 mol (water), the thickness of deposited film is in the range of 500 Å- 1500 Å.

1. 서 론

박막의 많은 응용 분야 가운데 하나인 레이저용 부품에 쓰이는 박막은 각 부품의 특성에 따라 필요한 박막의 구조와 형태가 다르며 고출력 레이저용으로 쓰일 경우 레이저에 의한 손상을 견딜 수 있는 설계와 코팅 방법이 필요하다. 일반적으로 용액으로 부티의 코팅법인 sol-gel process 가 레이저 손상에 강한 코팅 방법으로 알려져 있다. 본 논문에서는 고출력 레이저용 부품 가운데 regenerative amplifier에 쓰이는 편광광속 분할기용 박막과 평판 증폭기용 박막을 설계하였으며 SiO₂ 박막을 sol-gel process 로 코팅해보았다.

2. 편광 광속 분할기용 박막 설계

Regenerative amplifier 에 쓰이는 편광광속 분할기 (polarizing beam splitter) 로는 front surface polarizer 가 선택되어 SiO₂ - TiO₂ 박막 교차층으로 기존의 ($\frac{L}{2} \# \frac{L}{2}$)^m 형태보다 더 좋은 성능을 갖도록 하기 위해서 각 박막의 두께를 45° - 180° 사이를 45° 간격으로 변화시키면서 목적함수를

$$F = (R_p - 0)^2 + 100 \times (R_s - 1)^2$$

으로 두고 이 값이 최소가 되는 조건을 찾았다. 또한 편광 분리 영역이 1.06um와 정확히 일치시키기 위해서 계산시에 기준파장도 0.8-1.06um까지 0.02um 간격으로 scan 하였다. Fig.2-2 에 반사율 그래프가 나타나있다. 이 설계에 의한 편광 분리비는 1 : 89.5로 계산되었다.

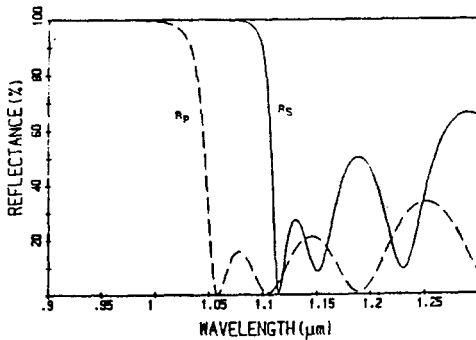


Fig.2-2 Spectral performance of front surface polarizer for 45 degrees incidence angle.

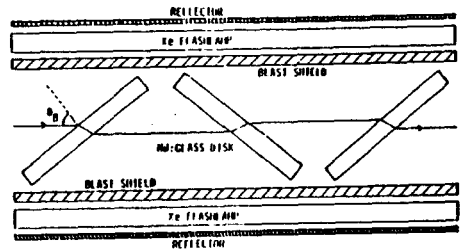


Fig.3-1 Schematic diagram of a typical disk amplifier.

3. 평판 증폭기용 박막 설계

Fig.3-1 은 평판증폭기 (disk amplifier) 의 기본적인 구조이다. 평판의 앞뒷면에서 요구되는 박막의 특성은 Brewster angle 로 들어오는 레이저 빔 (1.06 μ m) 에 대한 무반사와 위 아래에서 들어오는 펄스 빔 (4000-9000 \AA) 에 대한 무반사를 필요로 한다. 즉 4000-10600 \AA 까지의 넓은 파장영역에서 무반사특성을 가져야한다. 이런 형태의 박막설계로 double band 무반사 박막을 응용하도록한다. Fig.3-2 와 같은 박막계를 Fabry-Perot 간섭 필터 형태로 생각할때

$$R_1(\lambda) = R_2(\lambda) = 0$$

의 조건을 만족하면 각 층의 굴절률 사이의 관계식은

$$n_1^2 n_3 = n_2^2 n_4$$

$$n_1^2 = n_2 n_4$$

로 결정될 수 있다. 여기서 우리가 원하는 broad band 무반사되기 위해서는 넓은 영역의 파장에 대해서

$$R_1(\lambda) = R_2(\lambda)$$

의 필요 조건을 만족하도록 첫번째 두번째 층의 굴절률과 두께를 약간 변화시킨 데이터의 반사율 그래프가 Table3-1과 Fig.3-3 이다. 이 박막계를 6층의 교차 박막계로 개조하였다. 즉 subsystem I 과 subsystem II 와 같은 admittance 를 갖는 table 3-2 와 Fig.3-4 이다. Fig.3-3 와 Fig.3-4 를 비교하면 같은 admittance 를 갖는 박막계를 알 수 있다. 이 박막계를 disk amplifier에 쓰기 위해서 주입 입사가 아닌 33.34 로 입사하는 펄스 빔과 56.66 $^\circ$ 들어오는 레이저 빔에 대해서 무반사가되도록 특히 평판의 흡수영역에서 무반사가 되도록 전체 박막계를 최적화한 데이터와 반사율 그래프가 Table3-3과 Fig.3-5 에 나타나있다. 설계된 박막계의 펄스 빔에 대한 반사율은 3% 이며 레이저 빔에 대한 반사율은 0.15%로 계산되었다.

4. Sol-gel Process 에 의한 SiO₂ Coating

Sol-gel coating 은 반응진 물질인 sol 상태의 용액이나 콜로이드용액으로부터 gel 상태를 거쳐서 박막형태의 최종산물을 얻는 방법으로 산화물의 coating 에 널리 사용된다. Metal-alkoxide물질은 쉽게 가수분해되어 산화물이나 수산화물이 되는데 그 반응식은 다음과 같다.

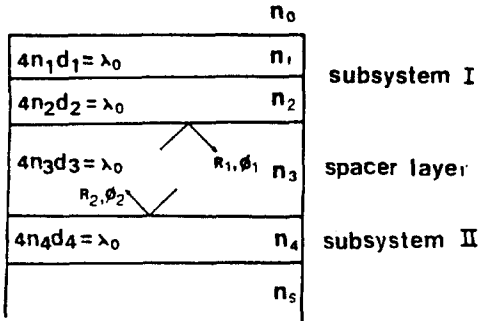


Fig. 3-2 Effective interfaces inside the four layer.

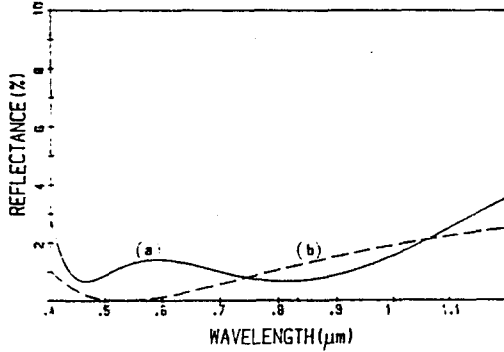


Fig. 3-3 Spectral performances R_1, R_2 of 4 layer correct system.
(a) : R_1 , (b) : R_2 .

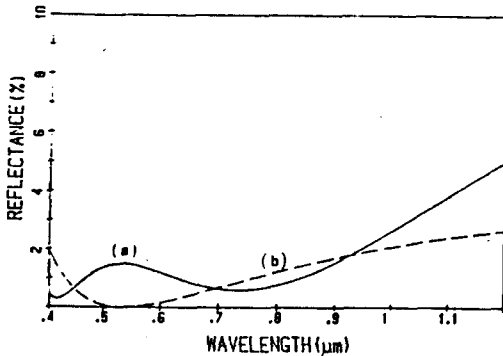


Fig. 3-4 Spectral performances R_1, R_2 of 6 layer system.
(a) : R_1 , (b) : R_2 .

Table 3-1 Correct double band AR system at reference wavelength $0.53 \mu\text{m}$

Layer	Ref. index	Phase thickness
1	1.45	100
2	1.95	100
3	2.30	180
4	1.87	90

Table 3-2 Six layer stack for double band AR system at reference wavelength $0.53 \mu\text{m}$

Layer	Ref. index	Phase thickness
1	1.45	100
2	2.30	37.13
3	1.45	21.44
4	2.30	180
5	1.45	26.05
6	2.30	30.96

Table 3-3 Thin film system for disk amplifier at reference wavelength $0.63 \mu\text{m}$

Layer	Ref. index	Phase thickness
1	1.45	118
2	2.30	38.67
3	1.45	24.65
4	2.30	240
5	1.45	28.22
6	2.30	31.77

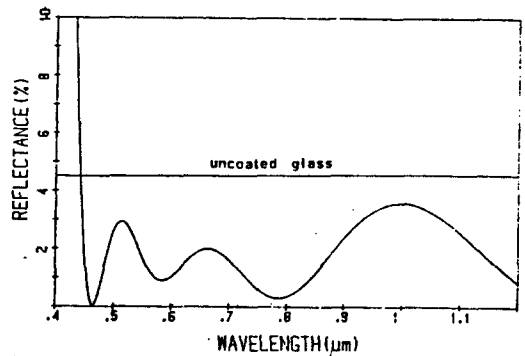
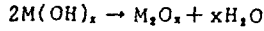
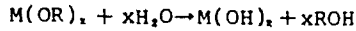


Fig. 3-5 Spectral performance of 6 layer thin film system for disk amplifier.



여기서 R은 C_nH_{2n+1} 을 나타내는 유기물로 alkyl, phenyl, acetylacetate 등이 있다. SiO_2 를 coating 하는 시작물질로는 $Si(OC_2H_5)_4$ 를 사용한다. 준비된 용액으로부터 박막을 증착하는 방법으로는 dipping, lowering, spinning, spraying 등이 있는데 이 중 가장 널리 사용되는 dipping 방법을 사용하여 coating 한다. Dipping 방법에서 두께에 영향을 미치는 여러가지 변수들 가운데 가장 큰 영향을 미치는 withdrawal speed 와 용액의 농도의 영향을 알아보았다. 한편 SiO_2 박막의 반사율이 낮아서 ellipsometer 로 두께의 측정이 어려우므로 기관의 한쪽에 구리 코팅을 하여 SiO_2 박막을 코팅한 다음 구리 박막을 제거하여 생기는 edge위에 Al코팅을 하여 Tolansky 간섭계로 두께를 측정한다.

Fig.4-1 은 기관의 withdrawal speed 에 따른 박막두께의 변화를 나타내는데 각 농도에 대해서 거의 선형성을 보이고 있다. 또 농도에 대한 두께의 변화를 좀 더 정확하게 보기 위해서 Fig.4-1 의 각 농도별 직선의 기울기를 최소 자승 오차법으로 계산하여 Fig.4-2 에 나타냈는데 농도가 증가함에 따라 역시 거의 선형으로 증가한다. 좀 더 큰 두께 범위에서 실험을 하면 두께의 withdrawal speed와 용액의 농도 의존성을 좀 더 정확하게 볼 수 있을 것으로 생각된다.

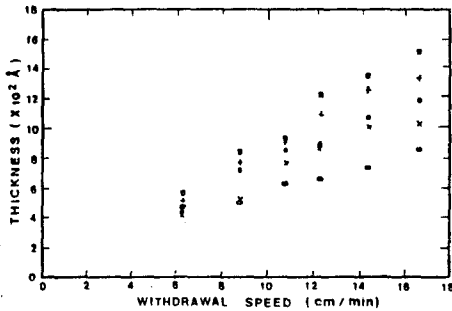


Fig.4-1 Withdrawal speed dependence of SiO_2 film thickness.

(Ethylsilicate:Ethyl alcohol:water = □: 1:4:2, +: 1:5:2,
●: 1:6:2, ×: 1:7:2, ○: 1:8:2).

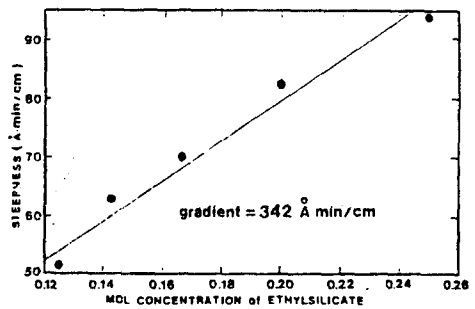


Fig.4-2 Mol concentration dependence of SiO_2 film thickness.

5. 결 론

고출력 레이저의 regenerative amplifier에 쓰이는 전광광속 분할기용 박막과 평판증폭기용 박막을 최적화 기법으로 설계하였다. 전광광속 분할기용 박막은 기존의 1/4 파장 교차 박막계를 개선한것으로 전광분리비가 1 : 895 로 계산되었으며 평판증폭기용 박막으로 double band 무반사 박막계를 응용하여 6층의 교차 박막계를 설계하였는데 레이저 빔에대한 반사율은 0.15%로 높아졌으나 점핑빔에대한 반사율은 3%이하로 줄어들었다. 한편 SiO₂ 박막을 sol-gel process 로 coating 하였는데 실험범위에서 withdrawal speed와 용액의 농도에 대해서 거의 선형성을 갖는다는 것을 알 수 있었다.

6. 참고 문헌

- 1) R.Russell Austin, SPIE Proc. 143(1974)
- 2) I.Szafranek and I.Lubezky, SPIE Proc.401, 138(1983)
- 3) R.S.Sokolova, Optical Technology 40, 761 (1973)
- 4) Ian M.Thomas, Optics News, 18 (1986)
- 5) C.J.Brinker and S.P.Mukherjee, Thin Solid Films 77, 141 (1981)